



---

# **BACHELORARBEIT**

---

Herr  
**Christian Kraft**

**Neue Strukturen im  
Energiesystem - Energieeffizienz  
durch erneuerbare Energien und  
Verbrauchsoptimierung**

Mittweida, 2012

# **BACHELORARBEIT**

---

## **Neue Strukturen im Energiesystem - Energieeffizienz durch erneuerbare Energien und Verbrauchsoptimierung**

Autor:  
**Herr Christian Kraft**

Studiengang:  
**Betriebswirtschaft**

Seminargruppe:  
**BW08wBKA**

Erstprüfer:  
**Prof. Dr. rer. oec. Volker Tolkmitt**

Zweitprüfer:  
**Prof. Dr. rer.oec. Serge Velesco**

Einreichung:  
**Hollabrunn, 22.05.2012**

### **Bibliografische Beschreibung:**

Kraft, Christian:

Neue Strukturen im Energiesystem - Energieeffizienz durch erneuerbare Energien und Verbrauchsoptimierung. - 2012. - IV, 59, 8 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Bachelorarbeit, 2012

### **Referat:**

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den bevorstehenden strukturellen Veränderungen in der deutschen Energieversorgung im Zuge der Energiewende. Das Hauptziel ist zu analysieren, wie die verschiedenen Handlungsfelder (Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Energieeinsparung) zusammenwirken müssen, damit ein nachhaltiges Energiesystem entstehen kann. Dabei stehen der Ausbau der erneuerbaren Energien und die Steigerung der Energieeffizienz im Mittelpunkt.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 „Damoklesschwert“ Energiekosten .....	1
1.2 Problemstellung .....	3
1.3 Zielsetzung .....	4
1.4 Methodisches Vorgehen .....	4
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>6</b>
2.1 Energieeffizienz.....	6
2.1.1 Definition.....	6
2.1.2 Maßzahl für den Energieaufwand.....	7
2.2 Erneuerbare Energien .....	8
2.2.1 Definition.....	8
2.2.2 Arten von erneuerbaren Energien.....	8
2.2.2.1 Solarenergie .....	10
2.2.2.2 Windkraft.....	12
2.2.2.3 Biomasse.....	14
2.2.2.4 Wasserkraft.....	15
2.2.2.5 Erdwärme .....	16
2.3 Das deutsche Energiekonzept 2050.....	17
2.3.1 Handbuch zur Modernisierung der Energieversorgung .....	17
2.3.2 Ziele des Energiekonzepts .....	17
2.3.3 Energiekonzept: Maßnahmen im Überblick.....	18
<b>3 Der Weg in ein neues Energiezeitalter .....</b>	<b>25</b>
3.1 Ausbau der erneuerbaren Energien.....	25
3.1.1 Potenzial der erneuerbaren Energien.....	25
3.1.2 Eingliederung in das Stromversorgungssystem.....	28
3.1.2.1 Netzoptimierung und -ausbau.....	28
3.1.2.2 Neue Speichertechnologien .....	31
3.1.2.3 Intelligente Stromnetze.....	34
3.1.2.4 Flexibler Kraftwerkspark.....	36
3.1.2.5 Weiterentwicklung des Marktes .....	37
3.1.3 Erneuerbare Energien: Chancen und Risiken .....	39
3.1.4 Volkswirtschaftliche Effekte der erneuerbaren Energien.....	41

3.2 Formel für die Energiewende: Energieeffizienz und Energieeinsparung.....	43
3.2.1 Einsparpotenziale in Deutschland .....	43
3.2.1.1 Unternehmen .....	43
3.2.1.2 Private Haushalte .....	45
3.2.2 Steigerung der Energieeffizienz .....	47
3.2.2.1 Intelligente Stromzähler .....	47
3.2.2.2 Elektromobilität .....	48
3.2.2.3 Energieeffiziente Kommunikationstechnik .....	51
3.2.2.4 Zukunftsfonds Deutschland .....	53
3.2.3 Volkswirtschaftliche Effekte der Energieeffizienz.....	55
<b>4 Zukünftige Herausforderungen der Energiewende.....</b>	<b>57</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>60</b>
<b>Selbstständigkeitserklärung .....</b>	<b>67</b>

# Abkürzungsverzeichnis

AEE	Agentur für Erneuerbare Energien
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
ct	Eurocent
dena	Deutsche Energie-Agentur GmbH
EEG	Erneuerbaren-Energien-Gesetz
EPEX	European Power Exchange
€	Euro
FLM	Freileitungsmonitoring
GPRS	General Pocket Radio Service
IEA	Internationale Energie-Agentur
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
kWh/m <sup>2</sup> a	Kilowattstunde pro Quadratmeter und Jahr
l	Liter
Mio.	Million
Mrd.	Milliarde
MW	Megawatt
OPEC	Organisation erdölexportierender Länder
PV	Photovoltaik
P2P	Peer-to-Peer
t	Tonne
TAL	Hochtemperaturseile
US-\$	Dollar
v.a.	vor allem
WEA	Windenergieanlagen

## **Abbildungsverzeichnis**

<b>Abbildung 1:</b> Übersicht über Art und Nutzungsformen erneuerbarer Energien .....	9
<b>Abbildung 2:</b> Funktionsprinzip einer Solarzelle .....	10
<b>Abbildung 3:</b> Aufbau einer Windenergieanlage.....	13
<b>Abbildung 4:</b> Schema eines Wasserkraftwerkes .....	15
<b>Abbildung 5:</b> Überblick über mögliche Netzausbau-Varianten und deren Kosten.....	30
<b>Abbildung 6:</b> Übersicht über mögliche Speichertechnologien .....	32
<b>Abbildung 7:</b> Das intelligente Energienetz der Zukunft - Smart Grid .....	34
<b>Abbildung 8:</b> Energieeffizienz im Privatbereich.....	54

## **Tabellenverzeichnis**

<b>Tabelle 1:</b> Nutzungsstand und Potenziale erneuerbarer Energien in Deutschland .....	26
---	----

# 1 Einleitung

## 1.1 „Damoklesschwert“ Energiekosten

Das Damoklesschwert wird oft als bildhafter Ausdruck für eine bestehende Gefahr in einer scheinbar komfortablen Situation verwendet.<sup>1</sup>

Energiekosten stellen eine solche Bedrohung für die Volkswirtschaften und die gesamte Weltwirtschaft dar. Sie gefährden das Wachstum, den technischen Fortschritt, die Kaufkraft, den Arbeitsmarkt und damit langfristig die Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft.

Beispielsweise betrugen im Jahr 2009 die Energiekosten der deutschen Haushalte rund 100 Milliarden Euro (inklusive Kraftstoffkosten)<sup>2</sup> und die der deutschen Industrie rund 33 Milliarden Euro<sup>3</sup>. Das entspricht einer Steigerung gegenüber dem Jahr 1999 von 43 % für die privaten Haushalte und 74 % für die Industrie.

Diese Entwicklung der Energiekosten resultiert aus stark gestiegenen Preisen an den internationalen Rohstoffmärkten, allen voran Erdöl, Erdölprodukte und Erdgas. So hat sich zum Beispiel der Rohölpreis in den letzten zehn Jahren mehr als vervierfacht und mit 107 US-\$ je Barrel<sup>4</sup> im Jahr 2011 seinen historischen Höchststand erreicht.<sup>5</sup>

Im Schatten des Erdölpreises nahmen viele andere Energieprodukte eine ähnliche Entwicklung. Nachfolgende deutsche Verbraucherpreise zwischen 1999 und 2009 dokumentieren das eindeutig<sup>6</sup>:

- Erdgas Haushalte: von 3,38 auf 6,98 ct/kWh (+ 107 %)
- Erdgas Industrie: von 1,27 auf 3,15 ct/kWh (+ 148 %)
- Benzin: von 0,84 auf 1,28 €/l (+ 52 %)
- Diesel: von 0,64 auf 1,09 €/l (+ 70 %)

---

<sup>1</sup> Vgl. Wikipedia 2012 (1)

<sup>2</sup> Vgl. BMWi-Energiedaten 2011, Tabelle 28

<sup>3</sup> Vgl. ebenda, Tabelle 27

<sup>4</sup> 1 US-amerikanisches Barrel sind 158,987 Liter.

<sup>5</sup> Vgl. TECSON 2012

<sup>6</sup> Vgl. BMWi-Energiedaten 2011, Tabelle 26



Ein erkennbarer langfristiger Trend von steigenden Energiepreisen und -kosten lässt sich an diesen Zahlen ablesen und diese Entwicklung wird sich nach Meinung von Energieexperten auch in Zukunft fortsetzen.

OPEC-Generalsekretär Abdalla El-Badri prognostizierte in einem Interview mit der österreichischen Tageszeitung Kurier im Jänner 2012 einen Ölpreis von 133 US-\$ je Barrel im Jahr 2035.<sup>7</sup> Im aktuellen World Energy Outlook der Internationalen Energie-Agentur (IEA) wird mit einem Preis von 210 US-\$ je Barrel gerechnet.<sup>8</sup> Legt man den Ölpreis von 107 US-\$ je Barrel im Jahr 2011 zugrunde, so würde das eine Preissteigerung zwischen 24 % und 96 % bedeuten. Aufgrund der weltweit steigenden Nachfrage, z.B. in China, Indien, Brasilien, und der zunehmenden Verknappung fossiler Brennstoffe, wie Erdgas, Erdöl, Braun- und Steinkohle, sind Preissteigerungen in diesem Rahmen auch für andere Energieprodukte zu erwarten.

Fasst man die vorliegenden Befunde zusammen, so liegt es nahe, dass es zu großen Zusatzbelastungen für die deutsche Volkswirtschaft kommen wird. Hunderte Milliarden Euro wären für die Finanzierung der Energiekosten von Unternehmen, privaten Haushalten und öffentlichen Einrichtungen notwendig. Darüber hinaus wird die Importabhängigkeit Deutschlands aufgrund der geringen Rohstoffvorkommen im eigenen Land weiter zunehmen und die Energiepreise im Inland unter Druck setzen. Negative Auswirkungen auf Kaufkraft, Arbeitsplätze, Unternehmensbilanzen, Wirtschaftswachstum, Klima wären die Folge.

Vor diesem Hintergrund wäre die Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandortes Deutschland akut gefährdet. Das kann und sollte sich die viertgrößte Volkswirtschaft der Welt<sup>9</sup> nicht leisten. Mit dem Atomausstieg bis Ende 2022 und dem Energiekonzept 2050 hat die Bundesregierung den energiepolitischen Weg Deutschlands festgelegt und einen wichtigen Schritt in Richtung Energiewende und Klimaschutz getan. Die „Leitplanken“, in Form von gesetzlichen Rahmenbedingungen, um die Risiken eines grundlegenden Wandels im Energiesystem zu begrenzen, sind vorhanden. Bei der Finanzierung der Investitionen zum Umbau der Energieversorgung und zur Umsetzung der energiepolitischen Zielvorgaben

---

<sup>7</sup> Vgl. Kurier 2012

<sup>8</sup> Vgl. World Energy Outlook 2011

<sup>9</sup> Vgl. The World Bank 2011

nehmen Bevölkerung und Unternehmen die Hauptrolle ein, da Investitionen in Milliardenhöhe vom Staat alleine nicht getragen werden können.

Eine zukunftsorientierte Kombination aus

- Ausbau der erneuerbaren Energien,
- Steigerung der Energieeffizienz und
- Energieeinsparung

ist der Schlüssel für eine nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung und die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands.

## **1.2 Problemstellung**

Mit dem beschlossenen Ausstieg aus der Kernenergie bis Ende 2022 und dem Energiekonzept, welches den Weg in ein neues Energiezeitalter bis zum Jahr 2050 beschreibt, hat die deutsche Bundesregierung einen ehrgeizigen energiepolitischen Fahrplan zur Neustrukturierung des Energiesystems bestimmt. Mit anderen Worten die Richtung und das Ziel sind von staatlicher Seite festgelegt, die Umsetzung der Energiewende ist noch offen.

Das vorliegende Werk befasst sich mit den strukturellen Veränderungen in der deutschen Energiewirtschaft hin zu einer modernen und nachhaltigen Energieversorgung, um auch nachfolgenden Generationen ein sicheres, umweltverträgliches und wirtschaftliches Energiesystem zu gewährleisten. Vor diesem Hintergrund betont der Autor zu Recht, dass der Erfolg der Energiewende maßgeblich von den drei tragenden Säulen erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Energieeinsparung abhängig ist.

Die Arbeit soll dem Leser fundierte Antworten geben auf Fragen, die sich angesichts der Transformation des Energiesystems stellen:

- Was sind die wichtigsten Punkte im Energiekonzept?
- Welche Ziele verfolgt das Energiekonzept 2050?
- Wie soll der Weg in ein neues Energiezeitalter gestaltet werden?
- Welche Energieträger sind für die Energiewende von Bedeutung?

- Ist die Energiewende technisch und wirtschaftlich möglich?
- Was kostet die Energiewende?
- Welche Chancen und Risiken birgt ein neues Energiesystem?
- Welches Potenzial haben die erneuerbaren Energien?
- Welche Möglichkeiten gibt es, die erneuerbare Energien in das Stromversorgungssystem einzugliedern?
- Welche volkswirtschaftlichen Effekte hat die Energiewende?
- Welche Einsparpotenziale gibt es in Deutschland?
- Wie kann die Energieeffizienz gesteigert werden?
- Welche Auswirkungen hat die Energiewende auf Beschäftigung, Wirtschaftswachstum, Wettbewerbsfähigkeit und Investitionen in Deutschland?

### **1.3 Zielsetzung**

Ziel dieser Arbeit ist es, dem Leser einen möglichst geschlossenen Überblick über den bevorstehenden Strukturwandel im deutschen Energiesystem zu geben und die damit verbundenen Umbauarbeiten in der Energiewirtschaft näher zu bringen.

Im Zentrum steht der Ausbau der erneuerbaren Energien, die Steigerung der Energieeffizienz und die Reduzierung des Energieverbrauchs bzw. Energieeinsparung. Der Leser soll einen Eindruck davon bekommen, wie die verschiedenen Handlungsfelder ineinander greifen müssen, damit ein funktionierendes Gesamtsystem entsteht und die Energiekosten auch zukünftig im Rahmen bleiben. Hier kommt der Eingliederung der erneuerbaren Energien in die Stromversorgung besondere Bedeutung zu.

Ein weiteres Vorhaben ist die Einsparpotenziale der privaten Haushalte und der Unternehmen darzustellen und zu analysieren, wo die Hebel für eine effizientere Nutzung von Energie anzusetzen sind.

### **1.4 Methodisches Vorgehen**

Diese Bachelorarbeit ist in vier Kapiteln gegliedert. Nach der Einleitung, in der die Energiekosten und deren Risiken im Mittelpunkt stehen, werden im zweiten Abschnitt die wesentlichen Grundlagen zu Energieeffizienz und erneuerbarer Energie erklärt, um wichtige

Begriffe und Definitionen besser zu verstehen. Abgerundet wird dieses Kapitel durch die Erläuterung der Maßnahmen und Ziele des deutschen Energiekonzepts.

Im dritten Kapitel wird der Weg in ein neues Energiezeitalter beschrieben. Neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien werden auch die Steigerung der Energieeffizienz und Energieeinsparung als die zentralen Herausforderungen der Energiewende diskutiert. Hier stehen vor allem die Eingliederung der erneuerbaren Energien in das Stromversorgungssystem, die Möglichkeiten und Probleme der „grünen Energie“ und die volkswirtschaftlichen Effekte der Energiewende, etwa Zusatzinvestitionen und -kosten, Einsparungen, Beschäftigung im Rampenlicht. Darüber hinaus werden Nutzungspotenziale der erneuerbaren Energien und die Einsparmöglichkeiten beim Energieverbrauch der deutschen Haushalte und Unternehmen herausgearbeitet.

Abschließend werden im vierten Kapitel die zukünftigen Herausforderungen der Energiewende dargestellt.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Energieeffizienz

#### 2.1.1 Definition

Der Begriff „Energieeffizienz“ wird in der Literatur in unterschiedlichen Zusammenhängen verwendet und häufig mit dem Wort „Energieeinsparung“ in Verbindung gebracht.

Das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie beschreibt Energieeffizienz wie folgt ab: „Während Effektivität im Sinne von „Wirksamkeit“ den Grad der Zielerreichung einer Aktivität bezeichnet, bezieht sich die Effizienz auf das **Verhältnis zwischen Nutzen und Aufwand**. Gemessen wird dabei nicht die absolute Energieeffizienz, sondern deren prozentuale Steigerung oder deren Kehrwert, die prozentuale Energieeinsparung oder auch die absolut erreichte Energieeinsparung.“<sup>10</sup>

Je nach Ebene und Perspektive unterscheidet man zwischen<sup>11</sup>:

- der Energieeffizienz auf der gesamtwirtschaftlichen Ebene,
- der Energieumwandlungseffizienz auf der Energieangebots- bzw. Energiebereitstellungsseite,
- der Endenergieeffizienz auf der Energienachfrageseite und
- der versorgungsökonomischen Endenergie- und Nutzenergieeffizienz.

Nach Meinung von Pehnt (2010, S. 2 f.) bedeutet Energieeffizienz, den Energieeinsatz in einem System zur Erbringung einer Dienstleistung zu vermindern. Unter System wird ein Energiewandler beispielsweise ein Fahrzeug, ein Heizkessel, ein Gebäude, ein Unternehmen oder die Volkswirtschaft verstanden. Beispiele für Energiedienstleistungen sind die Lagerung von Speisen bei kalten Temperaturen, das Heizen eines Wohnraums, das warme Wasser zum Duschen, die Beleuchtung im Büro, um arbeiten zu können, oder die Übertragung von Nachrichten.

---

<sup>10</sup> Wuppertal Institut 2008, S. 1

<sup>11</sup> Vgl. ebenda, S. 1 ff.

## 2.1.2 Maßzahl für den Energieaufwand

Um Energieeffizienz messbar zu machen, sind sogenannte **Energieeffizienz-Indikatoren** notwendig. Da es nicht möglich ist eine Effizienzmaßnahme z.B. Gebäudedämmung oder verbesserte Kraftwerkstechnik mit einem Messgerät oder einem Zähler zu bestimmen, werden hier Situationen „Vorher/Nachher“ bzw. „mit“ und „ohne Effizienz“ verglichen und analysiert.<sup>12</sup>

Damit diese Indikatoren aussagekräftig sind, wird die Analyse um Temperatur und Inflation bereinigt.<sup>13</sup>

Auf gesamtwirtschaftlicher Ebene dient die **Energieintensität** als Hilfsmittel bzw. Indikator. Hier wird der Energieeinsatz in Verhältnis zu einer wirtschaftlichen oder gesellschaftlichen Bezugsgröße gesetzt. Im Ergebnis steht ein Quotient aus dem Energieverbrauch (gemessen in Energieeinheiten) und einem wirtschaftlichen Indikator (gemessen in Geldeinheiten). Die Energieintensität wird beispielsweise in Primärenergieverbrauch je Einheit des BIP (real) oder Primärenergieverbrauch je Einwohner erfasst. Der Kehrwert der Intensität, die **Energieproduktivität**, wird in BIP (real) pro Primärenergieeinsatz angegeben.<sup>14</sup> Primärenergien sind erneuerbare Energien, Erdöl, Erdgas, Kohle und Kernenergie.

Anders als bei den Energieintensitäten, wo der gesamtwirtschaftliche Bereich im Vordergrund steht, bewerten technische Indikatoren die Energieeffizienz einzelner Technologien (z.B. ein Kraftwerk, ein Heizungskessel) oder von Technologiegruppen (z.B. Leuchtmittel, Autos). In diesen Zusammenhang spricht man meist von sogenannten **Wirkungsgraden** (beispielsweise der Wirkungsgrad eines Motors oder der Wirkungsgrad eines Kraftwerkes).<sup>15</sup>

---

<sup>12</sup> Vgl. Pehnt 2010, S. 27

<sup>13</sup> Vgl. ebenda, S. 28 f.

<sup>14</sup> Vgl. ebenda, S. 30 f.

<sup>15</sup> Vgl. ebenda, S. 32 f.

## 2.2 Erneuerbare Energien

### 2.2.1 Definition

Als erneuerbare Energien, auch regenerative bzw. alternative Energien genannt, werden Energiequellen bezeichnet, die nach menschlichen Maßstäben unerschöpflich sind. Diese Energiequellen sind Wind, Wasser, Sonne, Erdwärme und Bioenergie.<sup>16</sup> Die folgenden Begriffsbestimmungen geben einen kleinen Einblick, in die unterschiedlichen Sichtweisen und Schwerpunkte der Verfasser.

„Auch wenn es in Zeithorizonten von Milliarden Jahren keine regenerative Energie im physikalischen Sinn gibt, so ist für menschliche Zwecke sowohl die Lebensdauer der Sonne, die Gravitationsenergie der Erde und des Mondes und der Energiefluss aus dem heißen Erdinneren praktisch unerschöpflich. Regenerative Energie ist entweder abgeleitet aus der Nutzung von natürlichen Prozessen, welche von der Sonne angetrieben werden (Wasserkreislauf oder Windbewegungen erlauben z.B. Stromerzeugung, Biomasse aus gespeicherter Photosynthese-Energie), aus den Bewegungen von Erde und Mond (Gezeitenenergie), aus Erdwärme (Geysire in Island) oder aus direkter Nutzung der Sonneneinstrahlung (Photovoltaik).“<sup>17</sup>

Das österreichische Umweltbundesamt beschreibt die erneuerbaren Energien wie folgt: „Erneuerbare Energien sind Energieträger/-quellen, die sich ständig erneuern bzw. nachwachsen. Hierzu zählen: Sonnenenergie, Biomasse, Wasserkraft, Windenergie, Erdwärme (Geothermie) und Gezeitenenergie. Bei einer nachhaltigen Nutzung der nachwachsenden Ressourcen dürfen [sic!] die Verbrauchsrate die Erneuerungsrate nicht übersteigen.“<sup>18</sup>

### 2.2.2 Arten von erneuerbaren Energien

Hinsichtlich ihrer Art und Nutzungsformen sind erneuerbare Energien sehr vielfältig. Das liegt einerseits an den unterschiedlichen Energiequellen und Erscheinungsformen, andererseits auch an den zum Einsatz kommenden Technologien und den Verwendungsarten.

---

<sup>16</sup> Vgl. Wikipedia 2012 (2)

<sup>17</sup> Gabler Verlag 2012 (1)

<sup>18</sup> Umweltbundesamt 2012

Vereinfacht gliedern sich die erneuerbaren Energien nach ihrem Entstehungsursprung. Die direkt oder indirekt abgeleiteten Nutzungsmöglichkeiten der Sonne sind zum Beispiel die Biomasse, die Wasserkraft, die Windenergie und die Solarstrahlung. Der natürliche Zerfallprozess von radioaktiven Isotopen im Erdinneren ermöglicht die Nutzung der Erdwärme (Geothermik). Überdies macht die Anziehungskraft zwischen Erde und Mond die Gezeitenenergie nutzbar. Erneuerbare Energien werden im gesamten Energiesystem zur Stromerzeugung, zur Wärmebereitstellung oder zur Kraftstoffproduktion eingesetzt.<sup>19</sup>

Primärenergiequelle	Erscheinungsform	Natürliche Energieumwandlung	Technische Energieumwandlung	Sekundärenergie
SONNE	Biomasse	Biomasse-Produktion	Heizkraftwerk/Konversionsanlage	Wärme, Strom, Brennstoff
	Wasserkraft	Verdunstung, Niederschlag, Schmelzen	Wasserkraftwerk	Strom
	Windkraft	Atmosphärenbewegung	Windenergieanlage	Strom
		Wellenbewegung	Wellenkraftwerk	Strom
	Solarstrahlung	Meeresströmung	Meeresströmungskraftwerk	Strom
		Erwärmung der Erdoberfläche und Atmosphäre	Wärmepumpen	Wärme
			Meereswärmekraftwerk	Strom
		Solarstrahlung	Fotolyse	Brennstoff
			Solarzelle, Photovoltaik-Kraftwerk	Strom
			Kollektor, solarthermisches Kraftwerk	Wärme
MOND	Gravitation	Gezeiten	Gezeitenkraftwerk	Strom
ERDE	v.a. Isotopenzerfall	Geothermik	Geothermisches Heizkraftwerk	Wärme, Strom

**Abbildung 1:** Übersicht über Art und Nutzungsformen erneuerbarer Energien

Quelle: Hennicke/Fischedick 2010, S. 30; leicht modifiziert

In den Abschnitten 2.2.2.1 bis 2.2.2.5 werden die Nutzungsmöglichkeiten der erneuerbaren Energien in Kurzform dargestellt. Hier geht der Autor einerseits auf das generelle Nutzungsprinzip ein, andererseits werden die unterschiedlichen Verwendungsformen beschrieben und der aktuelle technische Entwicklungsstand skizziert. In diesem Zusammenhang hat der Verfasser auf die nähere Beschreibung der Gezeiten- und Wellenenergie verzichtet, da dieser Bereich in der deutschen Energieversorgung von geringer Bedeutung ist.

<sup>19</sup> Vgl. Hennicke/Fischedick 2010, S. 30 f.

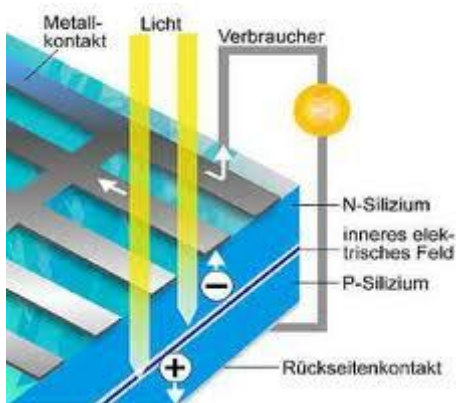


### 2.2.2.1 Solarenergie

Die Solarstrahlung wird in folgende Nutzungsklassen unterteilt:

- Photovoltaische Stromerzeugung,
- solarthermische Wärmebereitstellung und
- solarthermische Kraftwerke.

Bei der **photovoltaischen Stromerzeugung** wird das Sonnenlicht - als natürlicher Brennstoff - mittels Solarzellen bzw. -modulen direkt in Strom umgewandelt. Dieser Vorgang beruht auf dem sogenannten photovoltaischen Effekt. Die Stromerzeugung ist auf das sehr dünne innere elektrische Feld beschränkt, in der durch die Sonneneinstrahlung Ladungsträger freigesetzt werden. Die positiven und negativen Elektroden sind mit einem äußeren Stromkreis und damit mit dem Verbraucher verbunden.<sup>20</sup>



**Abbildung 2:** Funktionsprinzip einer Solarzelle

Quelle: AC-SOLAR POWER - Solartechnik 2000

Bei der Stromerzeugung aus Solarstrahlung kommen heute viele verschiedenen Materialien und Solarzellen-Designs zur Anwendung, die sich hinsichtlich Eigenschaften, technischem Entwicklungsstand und Markteinführung stark voneinander differenzieren. Aktuell sind kristalline Solarzellen aus Silizium mit einem weltweiten Marktanteil von rund 91 % am bedeutendsten. Trotz hohem Energieaufwand bei der Herstellung sind diese Zellen wegen

---

<sup>20</sup> Vgl. Hennicke/Fischedick 2010, S. 32

ihrer technischen Lebensdauer von deutlich mehr als 20 Jahren wirtschaftlich nutzbar, weil sie erheblich mehr Energie liefern als für die Produktion aufgewendet wird.<sup>21</sup>

Überdies gibt es noch viele andere neue Solarzellentechnologie wie beispielsweise Farbstoff- bzw. organische Solarzellen, Multispektral-Solarzellen und Konzentrator-Solarzellen. Diese Techniken befinden sich in unterschiedlichen Forschungs- und Entwicklungsstadien. Im Vergleich zu kristallinen Solarzellen wird von diesen neuen Technologien erwartet, dass sie deutlich günstiger und materialeffizienter hergestellt werden können und höhere elektrische Wirkungsgrade erzielen.<sup>22</sup>

Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) kommen aufgrund ihrer Variantenvielfalt nicht nur als kleinere Systeme (z.B. Uhren, Taschenrechner), sondern auch als netzgekoppelte Großanlagen auf Gebäuden (etwa Flughäfen, Messehallen) oder großen Freiflächen (beispielsweise landwirtschaftliche Brachen, ehemalige Militärgelände) zum Einsatz. Die installierten Leistungen reichen von wenigen Milliwatt bis zu mehreren Megawatt. Die derzeit gängigste Anwendung ist die netzgekoppelte, dezentrale PV-Anlage im Gebäudebereich.<sup>23</sup>

Bei der **solarthermischen Wärmebereitstellung** absorbieren thermische Solaranlagen die Sonnenstrahlung und geben diese in Form von Wärme an ein Wärmeträgermedium (Wasser, Wasser-Glykol-Gemisch) ab. Diese Wärme wird für Warmwasser, Raumwärme und Klimakälte verwendet. Absorberkollektor, Flachkollektor und Vakuumröhrenkollektor sind die heute verfügbaren Bauweisen.

Der Absorberkollektor ist die technisch einfachste und kostengünstigste Art der Wärmebereitstellung und wird vorwiegend zur Beheizung von Schwimmbädern verwendet. Im Vergleich dazu werden Flachkollektoren und Röhrenkollektoren für Brauchwarmwasser und Raumwärme eingesetzt.<sup>24</sup>

Ganz generell ist die solarthermische Wärmebereitstellung technisch weitgehend ausgereift und im Markt etabliert. Sie zeichnet sich durch geringe Kosten und klimafreundlichen Betrieb

---

<sup>21</sup> Vgl. ebenda, S. 33

<sup>22</sup> Vgl. Hennicke/Fischedick 2010, S. 34 f.

<sup>23</sup> Vgl. ebenda, S. 36

<sup>24</sup> Vgl. ebenda, S. 39 f.

aus. Bei Anwendungen zur solaren Kühlung und Klimakälte besteht jedoch noch Entwicklungsbedarf.<sup>25</sup>

Wie Hennicke/Fischedick (2010, S. 43-48) eingehend darlegten, wird in **solarthermischen Kraftwerken** die Solarstrahlung konzentriert und in Wärme umgewandelt, bevor Strom erzeugt wird. Sie benötigen das direkte Licht der Sonne, die nicht verdeckt sein darf. Aus diesem Grund kommen die Kraftwerke vorwiegend in trockenen, heißen Zonen südlich des 40. Breitengrades (Sonnengürtel der Erde) zum Einsatz. Auch wenn Deutschland für diese Technologie nicht als Standort in Frage kommt, ist sie trotzdem wichtig für die Exportwirtschaft.

Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Kraftwerkstypen: Parabolrinne, Turmkraftwerk, Dish-Stirling und Aufwindkraftwerk. Sie unterscheiden sich nach Größenklassen zwischen 10 kW und 200 MW und den breiten Anwendungsbereichen z.B. Inselsysteme und Kraft-Wärme-Kopplung.

#### **2.2.2.2 Windkraft**

Moderne Windkraftanlagen, auch **Windenergieanlagen (WEA)** genannt, machen sich die Strömungsenergie des Windes zu nutzen, um Strom zu erzeugen. Wichtigster Bestandteil ist der Rotor (Windrad/Windturbine), der von der zuströmenden Luft in Drehung versetzt wird.<sup>26</sup>

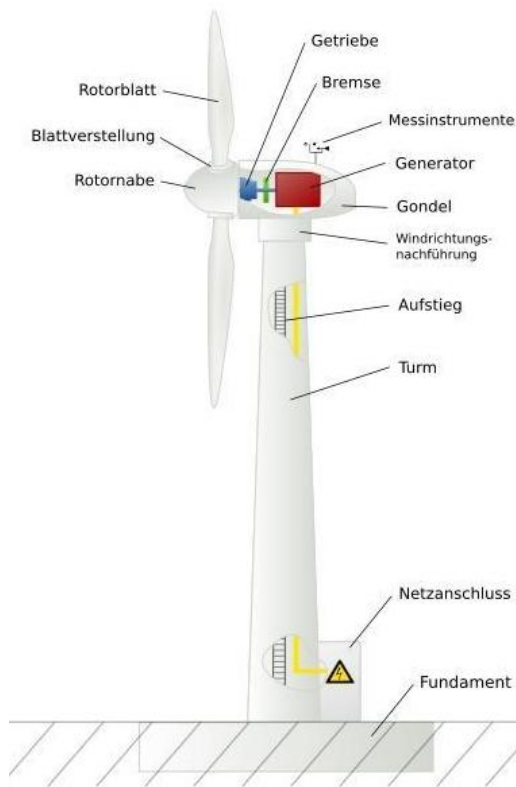
Diese Drehbewegung treibt einen Generator im Inneren der Gondel an - vergleichbar mit dem Prinzip des Fahrraddynamos. Je nach Bauart der Rotorblätter und der Windgeschwindigkeit kommt es zu unterschiedlichen Stromerzeugungsmengen. Genau genommen kann sich bei einer Verdoppelung der Windgeschwindigkeit die Leistung der WEA verachtfachen.<sup>27</sup>

---

<sup>25</sup> Vgl. ebenda, S. 42 f.

<sup>26</sup> Vgl. Hennicke/Fischedick 2010, S. 48

<sup>27</sup> Vgl. Agentur für Erneuerbare Energien (1)



**Abbildung 3:** Aufbau einer Windenergieanlage

Quelle: VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. 2012

WEA werden in Leistungsklassen eingeteilt<sup>28</sup>:

- Kleinst-WEA mit einer Leistung von einigen Kilowatt (kW),
- kleine WEA mit elektrischer Leistung bis 50 kW und Rotordurchmesser bis 16 m,
- mittlere WEA bis 500 kW Leistung und 45 m Durchmesser und
- große WEA mit einer Leistung von mehreren MW und Durchmesser über 100 m.

Die Windkraft zählt zu den am schnellsten wachsenden erneuerbaren Energien. Eine Leistungssteigerung um das 60fache und eine Ertragssteigerung um das 180fache in den letzten drei Jahrzehnten bestätigen dieses Argument eindeutig. Dieser rasante technische Fortschritt der WEA führte dazu, dass Deutschland heute über die weltweit höchste installierte Leistung im Bereich der Windenergie verfügt. Heute sind WEA mit einer Leistung von bis zu 6 MW in Entwicklung.<sup>29</sup>

<sup>28</sup> Vgl. Hennicke/Fischedick 2010, S. 50

<sup>29</sup> Vgl. ebenda, S. 51 f.

### 2.2.2.3 Biomasse

Die Biomasse, auch **Bioenergie** genannt, zeichnet sich durch ihre unterschiedlichen Nutzungsformen aus. Sie lässt sich wie folgt einteilen:

- **Holzartige Biomasse** beispielsweise Industrieholz, Altholz oder Waldrestholz,
- **Reststoffe und Abfälle aus Land- und Forstwirtschaft, Industrie und Kommunen** z.B. Stroh, Gülle, Restmüll, Bioabfälle oder Abfälle der Nahrungsmittelindustrie und
- **Pflanzen aus gezieltem Anbau** wie etwa Mais, Getreide oder Ölpflanzen.

Es stehen eine große Auswahl an Nutzungs- und Umwandlungsprozessen zur Verfügung oder befinden sich in Entwicklung, um feste, flüssige oder gasförmige Energieträger aus Biomasse zu erzeugen. Aufgrund dieser Flexibilität kann die Bioenergie in der Strom-, Wärme- oder Kraftstofferzeugung eingesetzt werden.<sup>30</sup>

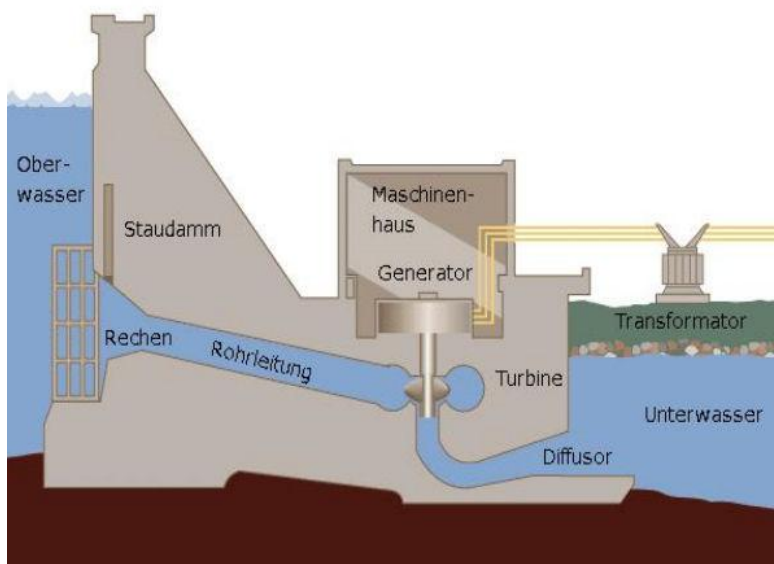
Folgt man den Ausführungen von Hennicke/Fischedick (2010, S. 57-61), so wird beispielsweise Holz oder Stroh direkt in Kraftwerken oder Heizkraftwerken zur Erzeugung von elektrischem Strom genutzt. Im häuslichen Bereich wird die Biomasse hauptsächlich zur Wärmeerzeugung durch Verbrennung von Holz z.B. Scheitholze, Hackschnitzel oder Pellets verwendet. Aus diesem Grund erlebten Pellet-Heizungen in Deutschland in den vergangenen Jahren einen deutlichen Zuwachs. Die Kraft-Wärme-Kopplung ist ein weiterer Weg zur Strom- und Wärmebereitstellung durch Biomasse. Dabei wird Biogas durch Nutzung der Abwärme in Blockheizkraftwerken verstromt. In landwirtschaftlichen Standorten kann die entstehende Abwärme oft technisch nicht sinnvoll genutzt werden. Vor diesem Hintergrund hat sich die Einspeisung von Biomethan, aufbereitetes Biogas, in das deutsche Erdgasnetz als wirtschaftliche Alternative etabliert. In flüssiger Form findet man Biomasse als Biokraftstoff wieder. Hier sind Bioethanol, Biodiesel und reines Pflanzenöl mengenmäßig am wichtigsten. Diese werden nach heutigem Stand der Technik produziert und sind dadurch wirtschaftlich nutzbar.

---

<sup>30</sup> Vgl. Hennicke/Fischedick 2010, S. 57

#### 2.2.2.4 Wasserkraft

Die Wasserkraft zählt zu den ältesten und kostengünstigsten Nutzungsformen erneuerbarer Energien.<sup>31</sup> Deshalb waren in Deutschland Ende 2009 rund 7.500 Anlagen, mit einer Leistung von ungefähr 4.760 Megawatt (MW) installiert.<sup>32</sup> Die Nutzung der Wasserkraft basiert auf dem natürlichen Wasserkreislauf mit den Faktoren Verdunstung, Niederschlag und Schmelzen. In Wasserkraftwerken wird die Energie der Wasserströmung über ein Turbinenrad in mechanische Rotationsenergie umgewandelt, die zum Antrieb von Maschinen und Generatoren genutzt wird. Diese Generatoren erzeugen elektrischen Strom. Die erzeugte Strommenge ist abhängig von der Menge des fließenden Wassers und der Höhendifferenz.<sup>33</sup>



**Abbildung 4:** Schema eines Wasserkraftwerkes

Quelle: Kraftwerksforschung 2012

Die Wasserkraftwerke werden in kleine (weniger als 1 MW) und große Anlagen (größer als 1 MW) unterteilt. Die wichtigsten Kraftwerkstypen in Deutschland sind Laufwasserkraftwerke sowie Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke. Diese Typen können wie folgt unterschieden werden:

---

<sup>31</sup> Vgl. ebenda, S. 64

<sup>32</sup> Vgl. Agentur für Erneuerbare Energien 2012 (2)

<sup>33</sup> Vgl. Agentur für Erneuerbare Energien 2012 (3)

- **Laufwasserkraftwerke** erzeugen Strom durch die Strömung eines Flusses oder Kanals.
- **Speicherkraftwerke** produzieren Strom durch das hohe Gefälle und die Speicherkapazität von Talsperren und Bergseen.
- **Pumpspeicherkraftwerke** werden nicht durch natürliche Wasservorkommen, sondern mit aus dem Tal gepumptem Wasser angetrieben.<sup>34</sup>

Da es sich nach heutigem Entwicklungsstand bei der Wasserkraft um eine ausgereifte Technologie handelt, liegen die Ausweitungsmöglichkeiten vor allem im Ersatz, in der Modernisierung und in der Reaktivierung von bestehenden Anlagen.<sup>35</sup>

#### 2.2.2.5 Erdwärme

Folgt man den Überlegungen von Hennicke/Fischedick (2010, S. 54 - 56), so lässt sich die Erdwärme, auch **Geothermie** genannt, als die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Erdoberfläche beschreiben. Die im Erdinneren vorhandene Wärmemenge entsteht durch den Zerfall von natürlich radioaktiven Isotopen. Dadurch entstehen im Erdkern Temperaturen von über 6.000 Grad Celsius und im oberen Erdmantel rund 1.300 Grad Celsius. Bei diesem Wärmefluss wird zwischen der oberflächennahen Geothermie, der Tiefengeothermie zur Wärmenutzung und der Tiefengeothermie zur Stromerzeugung unterschieden.

Die **oberflächennahe Geothermie** nutzt die Wärme bis zu einer Tiefe von 400 m. Das Temperaturniveau von 8 bis 12 Grad Celsius lässt sich unterschiedlich nutzen und dient hauptsächlich der Raumwärme, der Warmwasseraufbereitung und der Klimakälte. Damit die Energie in geringer Tiefe genutzt werden kann, sind Wärmepumpen erforderlich.<sup>36</sup>

Bei der **Tiefengeothermie** wird die Erdwärme in Tiefen zwischen 400 und 5.000 m nutzbar gemacht. Dort ist das Temperaturniveau im Vergleich zur oberflächennahen Geothermie

---

<sup>34</sup> Vgl. BMU 2012 (1)

<sup>35</sup> Vgl. Hennicke/Fischedick 2010, S. 64

<sup>36</sup> Vgl. Agentur für Erneuerbare Energien 2012 (4)

weitaus höher. Anlagen zur Nutzung der Tiefengeothermie werden für die Wärmeversorgung und die Stromerzeugung verwendet.<sup>37</sup>

## **2.3 Das deutsche Energiekonzept 2050**

### **2.3.1 Handbuch zur Modernisierung der Energieversorgung**

Das Energiekonzept wurde im September 2010 von der Bundesregierung beschlossen, damit die Energieversorgung auf lange Sicht die Herausforderungen des 21. Jahrhunderts bewältigen kann. Zu diesen zählen die global steigende Energienachfrage, hohe Energiepreise, die stetig zunehmende Abhängigkeit von Energieimporten und der Klimaschutz. Mit dem Energiekonzept hat die Regierung eine langfristige, bis 2050 reichende Gesamtstrategie für eine umweltschonende, zuverlässige, effiziente und bezahlbare Energieversorgung geschaffen. Es formuliert Ziele und Maßnahmen für alle wichtigen Handlungsfelder im Energiebereich, damit die Unternehmen und die Verbraucher in Deutschland auch zukünftig Energie zu moderaten Preisen beziehen können.<sup>38</sup> Anders ausgedrückt ist das Energiekonzept ein Handbuch zur Modernisierung der Energiewirtschaft.

### **2.3.2 Ziele des Energiekonzepts**

Das zentrale politische Ziel der deutschen Energiepolitik ist, dass Deutschland in Zukunft bei wettbewerbsfähigen Energiepreisen und hohem Wohlstandsniveau über eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt verfügt.<sup>39</sup>

Vor diesem Hintergrund sind im Energiekonzept der Bundesregierung folgende Ziele formuliert (vgl. BMWi/BMU 2010, S. 5 ff.):

- Die Treibhausgasemissionen sollen gegenüber 1990 bis 2020 um 40 %, bis 2030 um 55 %, bis 2040 um 70 % und bis 2050 um 80 % bis 95 % reduziert werden.
- Der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch soll bis 2020 auf 18 %, bis 2030 auf 30 %, bis 2040 auf 45 % und bis 2050 auf 60 % gesteigert werden.

---

<sup>37</sup> Vgl. Agentur für Erneuerbare Energien 2012 (5)

<sup>38</sup> Vgl. BMWi/BMU 2010, S. 3 f.

<sup>39</sup> Vgl. ebenda, S. 3



- Am Bruttostromverbrauch sollen die erneuerbaren Energien einen Anteil von 35 % bis 2020 erreichen. Bis 2030 sollen sie 50 %, bis 2040 65 % und bis 2050 80 % zur Stromerzeugung beitragen.
- Der Primärenergieverbrauch soll gegenüber 2008 bis 2020 um 20 % und bis 2050 um 50 % sinken.
- Die Energieproduktivität soll um 2,1 % pro Jahr bezogen auf den Endenergieverbrauch steigen.
- Beim Stromverbrauch wird eine Verminderung von 20 % bis 2020 und von 25 % bis 2050 - jeweils gegenüber dem Jahr 2008 - angestrebt.
- Die Sanierungsrate für Gebäude soll von jährlich weniger als 1 % auf 2 % verdoppelt werden.
- Im Verkehr soll der Endenergieverbrauch gegenüber 2005 um 10 % bis 2020 und um 40 % bis 2050 abnehmen.

Die Zielerreichung soll mit einem wissenschaftlich belegten Monitoring-Prozess überprüft werden. Dieser noch zu entwickelnde Bericht wird ermitteln, ob sich der tatsächliche Fortschritt im Korridor befindet und ob Handlungsbedarf besteht. Diese Prüfung soll alle drei Jahre im Auftrag der Bundesregierung stattfinden und für alle Beteiligten transparent dargestellt werden, damit diese auf Fehlentwicklungen reagieren können.<sup>40</sup>

### **2.3.3 Energiekonzept: Maßnahmen im Überblick**

Um die im Abschnitt 2.3.2 beschriebenen Ziele des Energiekonzepts voranzutreiben, ist ein umfassendes Maßnahmenpaket erforderlich. Dieses Programm wurde auf Basis verschiedener Energieszenarien - ein Szenario<sup>41</sup> stellt mögliche Ereignisse in einem bestimmten Umfeld, bezogen auf eine bestimmte Zeitperiode dar - von Experten ausgearbeitet.

Fasst man die Ergebnisse der Fachleute zusammen, wird deutlich, dass in allen Sektoren noch Handlungsbedarf besteht und die Voraussetzungen für die neuen Strukturen im Energiesystem noch entwickelt werden müssen. Ihrer Meinung nach sind die zentralen Schwerpunkte wie folgt zu setzen: Zusatzinvestitionen von jährlich 20 Mrd. Euro; Sanierung des Gebäudebestandes; drastischer Ausbau der Windkraft an Land und auf See; Ausbau der

---

<sup>40</sup> Vgl. BMWi/BMU 2010, S. 5

<sup>41</sup> Vgl. Gabler Verlag 2012 (2)

inländischen und europäischen Stromnetze. Trotz dieser unterschiedlichen Herausforderungen sind die Experten sich in einem Punkt einig, der Weg in ein neues Energiezeitalter ist möglich und umsetzbar.<sup>42</sup>

Vor dem Hintergrund der hier dargelegten Befunde hat die deutsche Bundesregierung Maßnahmen für alle wichtigen Bereiche (Strom, Wärme, Verkehr) beschrieben, um verlässliche Rahmenbedingungen für Investitionen der Wirtschaft und der privaten Haushalte zu schaffen.<sup>43</sup>

Die nachfolgende Darstellung der Handlungsfelder basiert auf BMWi/BMU (2010 S. 7-32).

### **Ausbau der erneuerbaren Energien**

Damit sich die regenerativen Energien zu einer tragenden Säule der Stromversorgung entwickeln können, werden im Energiekonzept der kosteneffiziente Ausbau der Erneuerbaren, der Ausbau der Onshore-Windenergie, der Ausbau der Offshore-Windenergie und die nachhaltige und effiziente Nutzung der Bioenergie in den Mittelpunkt gerückt.

**Kosteneffizienz** beim Ausbau der erneuerbaren Energien ist ein entscheidender Faktor, damit die betroffenen Branchen international wettbewerbsfähig bleiben und die Verbraucher ihre Energiekosten auch in Zukunft bezahlen können. Deshalb wird die Bundesregierung den unbegrenzten Einspeisevorrang erhalten und die Förderung wirtschaftlicher gestalten.

Beispielsweise wird mit der Korrektur der Vergütung der Photovoltaik ein erster Schritt in Richtung kosteneffiziente Förderung gesetzt. Die Photovoltaik verursacht 40 % der EEG-Differenzkosten, ihr Beitrag zum EEG-Strom ist mit 9 % sehr gering. Außerdem verfügt sie über großes Kostensenkungspotential und eine hohe technologische Lernkurve. Deshalb wurde mit der Einführung eines „atmenden Deckels“ die Degression der Einspeisevergütung verstärkt. Der Rückgang dieser Entschädigung wird sich abhängig vom wachsenden Marktvolumen ab dem Jahr 2012 um bis zu 12 % erhöhen.

---

<sup>42</sup> Vgl. BMWi/BMU 2010, S. 5 f.

<sup>43</sup> Vgl. ebenda, S. 6

Mit der EEG-Novelle 2012 sollen geeignete Instrumente die Markt- und Netzintegration stärken. Zum Beispiel soll eine optionale Marktprämie eingeführt werden und eine Verringerung der zahlreichen Boni im EEG kommen, um Überförderungen zu vermeiden.

Der **Ausbau der Offshore-Windenergie** wird mit einem Investitionsvolumen von 75 Mrd. € bis 2030 beziffert. Die Technologien sind relativ neu und daher die Investitionsrisiken schwer abschätzbar. Das Sonderprogramm „Offshore Windenergie“ der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) - mit einem Kreditvolumen von 5 Mrd. € - wird die Errichtung der ersten zehn Offshore-Windparks fördern und somit die Finanzierung erleichtern. Mit den daraus gewonnenen Erfahrungen sollen die technischen Risiken besser beherrschbar werden.

Zusätzlich soll eine Alternative zur derzeitigen Einspeisevergütung für Offshore-Wind erarbeitet werden. Darüber hinaus wird die Bundesregierung die Rechtsgrundlagen für die Genehmigung von Offshore-Windparks weiterentwickeln und die Seeanlagen-Verordnung ergänzen. Damit soll ein gebündeltes Genehmigungsverfahren installiert werden, um den Ausbau zu beschleunigen.

Die **Onshore-Windenergie** verfügt über das wirtschaftlichste Ausbaupotential der erneuerbaren Energien. Hier soll der Schwerpunkt bei Leistungsausweitung der bestehenden Standorte liegen. Damit der Ausbau der Windkraft an Land sich auch mit Landschaftsbild und Naturschutz verträgt, wird der gesetzliche und planungsrechtliche Rahmen verbessert. Die Bundesregierung wird gemeinsam mit den Ländern und Kommunen die Raumordnungspläne weiterentwickeln, um ausreichend Platz für neue Windenergiegebiete zu schaffen.

Die **Nutzung der Bioenergie** wird wegen ihrer guten Speicherfähigkeit in der zukünftigen Energieversorgung eine wichtige Rolle spielen. Die wesentlichen Schritte zu einer nachhaltigen Biomassenutzung sind zum Beispiel: die verbesserte Ausschöpfung inländischer Bioenergiepotenziale durch verstärkte Verwendung organischer Rest- und Abfallstoffe oder landwirtschaftlicher Koppelprodukte; Steigerung der Energie- und Flächeneffizienz durch verbesserte Bewirtschaftungsformen; die stärkere Nutzung von Biomethan; die Ergänzung des Energiebedarfs durch Importe von nachhaltig erzeugter Biomasse.

## **Schlüsselfrage Energieeffizienz**

Die Bundesregierung will im Bereich der Energieeffizienz vor allem auf die Eigenverantwortung und die Vernunft der Unternehmen und Haushalte bauen. Wirtschaftliche Anreize sowie verbesserte Information und Beratung sollen dazu beitragen, dass Verbraucher und Unternehmen bisher ungenutzte Potenziale selber ausschöpfen und somit aktiv zum Klimaschutz beitragen und gleichzeitig ihre eigenen Energiekosten senken.

Energieeffizienz wird ein verpflichtendes Kriterium bei der Vergabe von öffentlichen Aufträgen der Bundesregierung. Es soll ein Markt für Energiedienstleistung und Energieeffizienzmaßnahmen entwickelt werden. Zusätzlich soll mit der „Initiative Energieeffizienz“ durch konsequente Beratung das Bewusstsein der Verbraucher geweckt werden, damit sie eigenständig Energiekosten einsparen. Die Rolle der Konsumenten soll gestärkt werden, indem Produkte und Autos mit deren Energieverbrauch transparent gekennzeichnet werden.

Nach Meinung der Wissenschaft gibt es in der deutschen Industrie ein jährliches Einsparvolumen von 10 Mrd. €. Genauso wie bei den privaten Haushalten wird auch hier versucht, den Eigenantrieb der Unternehmen zum Energiesparen zu forcieren. Energiemanagementsysteme sollen Effizienzpotenziale aufzeigen und Unternehmen beim Kostensparen unterstützen. Für Klein- und Mittelbetriebe werden die bereits laufenden Förderprogramme für Energieberatung und Finanzierung von Effizienzmaßnahmen weiter verbessert und ausgebaut.

Vor diesem Hintergrund hat die Bundesregierung ab 2011 einen **Energieeffizienzfonds** auflegt, der die genannten Maßnahmen für Betriebe und Verbraucher finanzieren soll.

## **Kernenergie und fossile Kraftwerke**

Die Rolle der fossilen Kraftwerke und der Kernenergie wird sich im zukünftigen Energiemix entscheidend verändern. Laut Energiekonzept wird die Kernenergie als Brückentechnologie eingesetzt werden. Das heißt, die Laufzeit der 17 Kernkraftwerke in Deutschland wird um durchschnittlich 12 Jahre verlängert, um die Steigerung der Energiepreise nicht zu stark zu beeinflussen und einen Umbau der Energieversorgung vernünftig und wirtschaftlich gestalten zu können.

Die Versorgungssicherheit wird durch die Weiterentwicklung zu einem flexiblen Kraftwerkspark gewährleistet. Diese Kraftwerksparks sollen in Zukunft als Ausgleichs- und Reservekapazitäten bei Bedarf dem deutschen Stromnetz zugeschaltet werden. Durch Investitionen in den Neubau von flexibleren Kohle- und Gaskraftwerken sollen neue Märkte entstehen. Die CCS-Technologie zur Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) soll als Möglichkeit zur Minderung der Treibhausgasemission erprobt werden. Im Bereich der CCS-Technologie wird es für die deutsche Wirtschaft zu Exportchancen kommen, da viele Staaten auch in Zukunft auf Kohle setzen.

### **Leistungsfähige Netzinfrastruktur für Strom und Integration der erneuerbaren Energien**

Der **Netzausbau** hat für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien eine zentrale Bedeutung. Deswegen ist die Bundesregierung bemüht mit gezielten Maßnahmen den Ausbau voranzutreiben:

- Informationsoffensive „Netze für eine umweltschonende Energieversorgung“, um Akzeptanz und Verständnis für den Leitungsausbau zu verstärken.
- Entwicklung eines zwischen allen Netzbetreibern abgestimmten Netzausbauplans.
- Die Geschwindigkeit der Planungs- und Genehmigungsverfahren soll weiter beschleunigt werden.

Außerdem soll die Energienachfrage mittels so genannter „**Smart Grids**“ stärker an das Angebot angepasst werden. Dieses intelligente Netz wird Stromerzeuger, Speicher, Verbraucher und das Stromnetz mit moderner Informationstechnik steuern. Die rechtlichen Grundlagen für dieses Instrument werden von Seiten der Bundesregierung noch geschaffen.

Um die Energieschwankungen vor allem bei den Energieträgern Wind und Sonne ausgleichen zu können, ist neben dem Ausbau der Netzinfrastruktur auch die **Weiterentwicklung von Speicherkapazitäten** ein bedeutendes Thema. Hier gilt es vor allem die Potentiale der deutschen Pumpspeicherkraftwerke technisch und wirtschaftlich auszuschöpfen. Langfristig wird auch die Nutzung von ausländischen Pumpspeichern beispielsweise in Norwegen oder den Alpen für Deutschland von großer Bedeutung sein. Darüber hinaus sollen neue Speichertechnologien wie Druckluftspeicher, Wasserstoffspeicher, Batterien für Elektrofahrzeuge intensiv erforscht und zur Marktreife geführt werden.

## **Energieeffiziente Gebäude**

Im Bereich der Gebäudesanierung gibt es enormes Potential. Beispielsweise entfallen auf deutsche Gebäude rund 40 % des Endenergieverbrauchs und etwa 30 % der CO<sub>2</sub>-Emission. Diese Zahlen belegen eindeutig, dass die Sanierung des Gebäudebestands ein wichtiger Bestandteil des Energiekonzepts ist.

Die Regierung will in Zukunft durch wirtschaftliche und steuerliche Anreize die Bevölkerung zu vermehrten Investitionen in die Sanierung von Gebäuden bewegen. Zum Beispiel soll es ein Gebäudesanierungsprogramm geben, das bestimmte Standards enthält, die Gebäude in Zukunft zu erfüllen haben. Die Eigentümer haben die freie Wahl zwischen Maßnahmen an der Gebäudehülle, der Verbesserung der Anlagentechnik oder dem Einsatz von erneuerbarer Energie. Die Regierung fördert diese Schritte in unterschiedlicher Höhe.

Außerdem soll das Förderprogramm „Energetische Städtebausanierung“ der KfW und eine Abänderung des Mietrechts die Investitionsfreudigkeit der Bürgerinnen und Bürger unterstützen. Zusätzlich wird die Regierung dafür Sorge tragen, dass die deutschen Handwerker in Zukunft gezielt in Richtung energetischer Gebäudesanierung ausgebildet werden.

## **Herausforderung Mobilität**

Eine Million Elektrofahrzeuge bis 2020 und sechs Millionen bis 2030 auf Deutschlands Straßen sind ein ehrgeiziges Ziel. Durch Steigerung des Images und der Attraktivität von Elektrofahrzeugen soll dieses Ergebnis erreicht werden.

Folgende Maßnahmen sind geplant:

- Kennzeichnung von Elektrofahrzeugen zur Schaffung von praktischen Nutzervorteilen wie z.B. kostenloses Parken.
- Imageoffensive „Nullemissionsfahrzeug“ durch bewusstes Marketing, beispielsweise Unabhängigkeit von Öl und Entlastung der Umwelt als Kaufanreiz.
- Auf lange Sicht sollen Elektrofahrzeuge als Stromspeicher zum Ausgleich von Angebot und Nachfrage dienen.

Die Strategie umweltfreundliche Mobilität beinhaltet auch den vermehrten Einsatz von Biokraftstoffen im privaten und öffentlichen Verkehr und die Verbesserung der Schieneninfrastruktur der Eisenbahn.

### **Energieforschung für Innovationen und neue Technologien**

Ein umfassendes Energieforschungsprogramm bis 2020 soll einerseits Technologien weiterentwickeln und kostengünstig machen, andererseits aber auch die Position deutscher Unternehmen in den Technologiemarkten der Zukunft stärken und die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands sichern.

Schwerpunkte des Forschungsprogramms sind: Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Speichertechnologien und Netztechnik, Weiterentwicklung der Stromversorgung und das Zusammenwirken dieser Energietechnologien. Unter dem Titel „6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung“ werden diese Schwerpunkte vertieft und festgelegt.

### **Transparenz und Akzeptanz**

Die zukünftige Energiepolitik und deren Maßnahmen sollten für die deutsche Bevölkerung nachvollziehbar und verständlich sein. Darum wird die Bundesregierung im Internet eine Informationsplattform einrichten, um den Dialog mit und unter den betroffenen Bürgerinnen und Bürgern zu verbessern. Aktuelle Analysen, Bewertungen und Fakten in einfacher Form sollen der Bevölkerung die Möglichkeiten und Risiken der Energiewende vor Augen führen und gesellschaftliches Verständnis und Bewusstsein schaffen.

## **3 Der Weg in ein neues Energiezeitalter**

### **3.1 Ausbau der erneuerbaren Energien**

#### **3.1.1 Potenzial der erneuerbaren Energien**

Die Zahlen des BMU belegen, dass der Beitrag erneuerbarer Energien zur deutschen Energieversorgung Ende 2010 einen neuen Rekordstand erreicht hat. Im Vergleich zum Jahr 1998 hat sich die Nutzung der erneuerbaren Energien in Deutschland - bezogen auf den gesamten Endenergieverbrauch - von 3,2 % auf 11,3 % gesteigert.<sup>44</sup> Die verstärkten staatlichen Fördermaßnahmen sind einer der Hauptgründe für diese dynamische Entwicklung.

Trotz intensiver Nutzung der erneuerbaren Energien und starker Wachstumsraten auf diesem deutschen Zukunftsmarkt sind die Potenziale von Wind, Sonne, Wasser, Bioenergie und Geothermie bei Weitem noch nicht ausgeschöpft (vgl. Tab. 1, S. 26). In Deutschland lag der Beitrag zur Stromerzeugung im Jahr 2010 bei 17,1 %, möglich sind mehr als 125 %. Die Nachfrage nach Wärme wurde zu 10,1 % aus erneuerbaren Energien gedeckt (realisierbares Potenzial: ungefähr 62 %), bei den Kraftstoffen basieren 5,8 % auf regenerativen Energiequellen (Potenzial: rund 15 %). Bezogen auf den gesamten Endenergiebedarf ergibt sich im Vergleich zum möglichen Gesamtpotenzial von 69 % ein Nutzungsanteil 2010 von 11,3 %.

---

<sup>44</sup> Vgl. BMU 2011, S. 8



	<b>Nutzung 2010</b>	<b>realisierbare Potenziale Ertrag</b>	<b>Leistung</b>
<b>Stromerzeugung</b>	<b>in GWh</b>	<b>in GWh</b>	<b>MW</b>
Wasserkraft	20.956	25.000	5.200
Windkraft - an Land (Onshore)	37.619	175.000	70.000
Windkraft - auf See (Offshore)	174	280.000	70.000
Biomasse	33.866	60.000	10.000
Photovoltaik	11.683	150.000	165.000
Geothermie	28	90.000	15.000
<b>Stromerzeugung gesamt</b>	<b>104.326</b>	<b>780.000</b>	
<b>Anteil am Stromverbrauch</b>	<b>17,1%</b>	<b>127,8%</b>	
<b>Wärmeerzeugung</b>	<b>in GWh</b>	<b>in GWh</b>	
Biomasse	133.905	170.000	
Solarthermie	5.200	300.000	
Geothermie	5.585	400.000	
<b>Wärmeerzeugung gesamt</b>	<b>144.690</b>	<b>870.000</b>	
<b>Anteil an Wärmeerzeugung</b>	<b>10,2%</b>	<b>61,5%</b>	
<b>Kraftstoffe</b>	<b>in GWh</b>	<b>in GWh</b>	
Biomasse	35.447	90.000	
<b>Kraftstoffe gesamt</b>	<b>35.447</b>	<b>90.000</b>	
<b>Anteil am Kraftstoffverbrauch</b>	<b>5,8%</b>	<b>14,7%</b>	
<b>Anteil, bezogen auf den gesamten Endenergieverbrauch 2010</b>	<b>11,3%</b>	<b>69,1%</b>	

**Tabelle 1:** Nutzungsstand und Potenziale erneuerbarer Energien in Deutschland

Quelle: BMU 2011, S. 20; leicht modifiziert

Angesichts dieser großen Potenziale können erneuerbare Energien in ihrem energiewirtschaftlichen Beitrag noch erheblich zulegen. Ein Blick auf die Potenziale zeigt aber auch, dass die erneuerbaren Energien beim gegenwärtigen Verbrauchsniveau, trotz offener Fragen der Systemintegration und der damit verbundenen Kosten, die Energienachfrage in Deutschland dauerhaft nicht decken werden können. Aus diesem Grund kommt einer gemeinsamen Strategie zum Ausbau der erneuerbaren Energien und zur Steigerung der Effizienz der Energienutzung eine Schlüsselrolle zu, um den Energiebedarf langfristig zu sichern.<sup>45</sup>

Vor dem Hintergrund dieser ungenutzten Potenziale hat die Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) im Februar 2010 einen Potenzialatlas für Deutschland veröffentlicht. In dieser Studie prognostiziert die AEE die Entwicklung der erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2020. Die zentralen Erkenntnisse zu den einzelnen Energiequellen und deren Ausschöpfungsmöglichkeiten stellen sich wie folgt dar:

<sup>45</sup> Vgl. Hennicke/Fischedick 2010, S. 69

## **Windenergie an Land**

- Ertrags- und Leistungssteigerung durch technischen Fortschritt und Ausnutzung des Höhenpotenzials - **Faustregel:** Pro Meter höherer Nabe, Mehrertrag von bis zu einem Prozent.
- Repowering als Möglichkeit alte Anlagen durch moderne Anlagen zu ersetzen.

## **Windenergie auf See**

- Energieausbeute von WEA auf See 40 % höher als an Land.
- 20 Windparks mit installierter Leistung von 20.000 MW sind genehmigt, 12 Windparks mit circa 5.000 MW im fortgeschrittenen Genehmigungsverfahren.

## **Solarenergie**

- 234.400 Hektar Gebäudefläche zur Nutzung geeignet, 2,5 % werden aktuell genutzt.
- 350.000 Hektar ehemalige Militärfläche bzw. Militärfläche, um PV-Anlagen zu installieren.

## **Geothermie**

- Geothermisches Potenzial in Deutschland übersteigt Energiegehalt von konventionellen Energieträgern um ein Vielfaches.

## **Bioenergie**

- Für den Ausbau der Bioenergie reichen rund 22 % der heute landwirtschaftlich genutzten Flächen in Deutschland (3,7 Mio. Hektar Flächenbedarf)
- Die zur Nutzung von Reststoffen eingesetzte Menge entspricht theoretisch dem Ertrag von einer zusätzlichen Fläche von 4,1 Mio. Hektar.

## **Wasserkraft**

- Wasserkraftwerke sind technisch ausgereift.
- Potenziale liegen in der Modernisierung bestehender Anlagen und in der Reaktivierung von im Zweiten Weltkrieg zerstörten oder vor Jahrzehnten stillgelegten Kraftwerken.

## 3.1.2 Eingliederung in das Stromversorgungssystem

### 3.1.2.1 Netzoptimierung und -ausbau

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist nicht nur räumlich konzentriert, sondern auch wetterbedingt oftmals schwankend. Sowohl die steigende Häufigkeit der Abregelungen von WEA und konventionellen Kraftwerken als auch die Bildung von negativen Strompreisen an der Energiebörse sind Signale dafür, dass die Netzkapazitäten an ihre Grenzen stoßen. Deshalb sind die Optimierung des bestehenden Stromnetzes und dessen Ausbau notwendig.<sup>46</sup>

Das deutsche Stromnetz unterteilt sich in ein Übertragungs- und Verteilernetz. Wie das Wort schon sagt, ist die Aufgabe des Übertragungsnetzes, den Strom über weite Strecke zu transportieren. Das Verteilernetz ist für die Verteilung des Stroms in der Fläche und die Versorgung der Endverbraucher zuständig.<sup>47</sup>

Zur Optimierung der Netzkapazität gibt es zwei Varianten, die kurzfristig und wirtschaftlich effizient umsetzbar wären<sup>48</sup>:

- **Freileitungsmonitoring (FLM):** Die Belastbarkeit der Leitungen wird der jeweiligen Umgebungstemperatur und den Windverhältnissen angepasst. Dadurch können, je nach Witterung, die Kapazitäten zum Transport von Strom auf bis zu 115 % im Süden und 150 % im Norden Deutschlands erhöht werden.
- **Umrüstung auf Hochtemperaturseile (TAL):** Eine Steigerung der Übertragungskapazitäten um bis zu 200 % wäre durch die Umrüstung der bestehenden Leitungen auf Hochtemperaturleiter realisierbar.

Nach Meinung von Winter u. a. (2011, S. 151) verfügt weder die Variante FLM noch das System TAL über das entscheidende Potenzial, um den Netzausbau zu reduzieren. FLM wäre nur in nördlichen Regionen sinnvoll einsetzbar, weil dort eine windbedingte Kühlung der Leitungen bei hohem Transportbedarf garantiert ist. Die Realisierung von TAL erfordert ein hohes Maß an Investitionen (Errichtung neuer Masten, damit die erhöhten Bodenabstände eingehalten werden) und Zeit (der Neubau der Masten in bestehenden Trassen führt dazu,

---

<sup>46</sup> Vgl. Weltenergierat 2011, S. 39

<sup>47</sup> Vgl. Deutsche Energie-Agentur 2012

<sup>48</sup> Vgl. Weltenergierat 2011, S. 39

dass die betroffenen Stromkreise nicht verfügbar sind, und daher kann nur schrittweise gearbeitet werden). Darüber hinaus ist ein Neubau mit konventioneller Technik mit normalen Mastenhöhen billiger (vgl. Abb. 5, S. 30).

Die Befunde der dena-Netzstudie II zeigen, dass auf lange Sicht kein Weg an einem Ausbau des Stromnetzes vorbeiführt. Das deutsche Stromnetz in seiner heutigen Form ist den Anforderungen einer modernen Netzinfrastruktur nicht gewachsen. Es fehlt an Übertragungskapazität und Flexibilität, um auf die wetterbedingten Schwankungen von Wind und Sonne angemessen reagieren zu können. Darüber hinaus konzentriert sich die Windstromerzeugung auf den Norden und Nordosten Deutschlands und die Anbindung der Offshore-Windenergie in Nord- und Ostsee benötigt ebenfalls mehr Kapazitäten. Der produzierte Strom wird dann über weite Strecken in die Nachfragezentren im Westen und Süden Deutschlands transportiert. Dadurch kommt es wiederum zu höheren Transportaufwendungen und einer zusätzlichen Belastung des Netzes.<sup>49</sup> Ein weiteres Problem ist, dass der Einsatz von zusätzlichen nicht-konventionellen Speichern die Systemkosten bei Netzengpässen deutlich erhöht, die Netze dadurch aber kaum entlastet.<sup>50</sup>

Die Untersuchungen der dena-Netzstudie II haben verschiedene Übertragungstechnologien miteinander verglichen und deren Ausbaukosten beziffert (vgl. Abb. 5, S. 30).

---

<sup>49</sup> Vgl. Deutsche Energie-Agentur 2010, S. 2 ff.

<sup>50</sup> Vgl. Winter/Neddermann/Knorr/Grave/Lindenberger 2011, S. 151

Übertragungstechnologie	Ausbaumaßnahmen	Jährliche Kosten
<b>Netzausbau mit bisher eingesetzter Technik 380-kV-Drehstromfreileitungen</b>	3.600 km neue Freileitungstrassen	950 Mio. Euro
<b>Einsatz von FLM</b>	Neubautrassen von 3.500 km, Umrüstung bestehender Freileitungen auf 3.000 km	985 Mio. Euro
<b>Umrüsten auf Hochtemperaturleiter (TAL)</b>	Neue Trassen von 1.700 km, Umrüstung auf 5.700 km	1,6 Mrd. Euro
<b>HGÜ - überlagertes Gleichspannungsnetz auf Basis erdverlegter Kabel</b>	Zubaubedarf von 3.400 km	zwischen 2 Mrd. Euro (als vermaschtes Netz) und 2,4 Mrd. Euro (als Punkt-zu-Punkt-Verbindungen)
<b>Hybridlösung</b>	Gleichspannungstrasse von 800 km mit 4.400 MW Leistung von Schleswig-Holstein nach Baden-Württemberg und 3.100 km zusätzliche Freileitungstrasse	1,3 Mrd. Euro
<b>GIL - flächendeckend erdverlegte gasisolierte 380-kV-Leitungen</b>	3.400 km Trasse erforderlich	4,9 Mrd. Euro

**Abbildung 5:** Überblick über mögliche Netzausbau-Varianten und deren Kosten

Quelle: eigene Darstellung auf Basis der deutschen Energie-Agentur 2010, S. 4

Energiefachleute wie Winter u. a. (2011, S. 151) halten den Ausbau des Netzes mit bisher eingesetzter konventioneller Technik und ohne Einsatz von Speichern mit jährlichen Kosten von 950 Mio. Euro unter den derzeitigen gesetzlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die beste Lösung, da die Erweiterung der Speicher nicht die gewünschte Netzentlastung bringt und zu einer deutlichen Steigerung der jährlichen Kosten auf 2,36 Mrd. Euro führt. Außerdem ist zu beachten, dass die Anbindung der Offshore-Windparks zusätzliche jährliche Kosten von 340 Mio. Euro verursacht. Eine zentrale Steuerung der Stromnachfrage, die Verbesserung der Windprognose und gezielte Pilotversuche im Hinblick auf Übertragungstechnologien und Speicher sind weitere Möglichkeiten, um das Stromsystem flexibler und anpassungsfähiger zu gestalten.

Den genannten Argumenten ist hinzuzufügen, dass die Notwendigkeit des deutschen Netzausbaus nicht an Deutschlands Grenzen endet. Verschiedene Studien zeigen, dass beispielsweise durch einen europaweiten Ausgleich der volatilen Erzeugung aus Wind- und

Solaranlagen erstens die sicher zur Verfügung stehende Leistung steigt, zweitens der Bedarf an konventionellen Reservekraftwerken sinkt und drittens die benötigten Speicherkapazitäten (nähere Erläuterung im Kapitel 3.1.2.2) effizienter genutzt und damit reduziert werden können. Somit sinken die Kosten für die Eingliederung der erneuerbaren Energien in die Stromversorgung.<sup>51</sup>

Vor dem Hintergrund der hier dargelegten Befunde ist anzunehmen, dass sowohl die Politik als auch die Energiewirtschaft erkannt haben, dass die Notwendigkeit eines Ausbaus des deutschen Stromnetzes außer Frage steht. Der Umstand, dass derzeit erst rund 10 % der erforderlichen Trassen verwirklicht sind<sup>52</sup>, zeigt, dass der Netzausbau zu langsam vorangeht. Die Regierung muss die Genehmigungsverfahren beschleunigen, die Akzeptanz innerhalb der Bevölkerung erhöhen und die Finanzierung unterstützen. Die Weiterentwicklung von Übertragungstechnologien für zukünftige Ausbaumaßnahmen sollte ebenfalls vorangetrieben werden.

### **3.1.2.2 Neue Speichertechnologien**

Fachleute aus Energiewirtschaft, Wissenschaft und Politik sind sich einig, dass mit zunehmendem Anteil von schwankenden erneuerbaren Energien wie Sonneneinstrahlung oder Windenergie in der Energieversorgung, die Nutzung und Weiterentwicklung von Stromspeichern an Bedeutung gewinnen.

Der vollständige Ausgleich von Schwankungen auf der Erzeugerseite über das Stromnetz ist erstens technisch nicht möglich und zweitens wirtschaftlich nicht sinnvoll. Beispielsweise kann das Stromnetz weder einen Tag-Nacht-Ausgleich der PV-Stromerzeugung verwirklichen noch die Schwankungen der Windstromerzeugung zwischen rund 10 bis 50 % der installierten Windleistung ausgleichen. Im Gegensatz dazu können Stromspeicher die lokalen, regionalen und überregionalen Schwankungen flexibel glätten und durch die zeitliche Entkoppelung von Stromerzeugung und Stromverbrauch netzentlastend wirken.<sup>53</sup> Deshalb tragen Speichertechnologien zu einem stabilen und flexiblen Netzbetrieb bei.

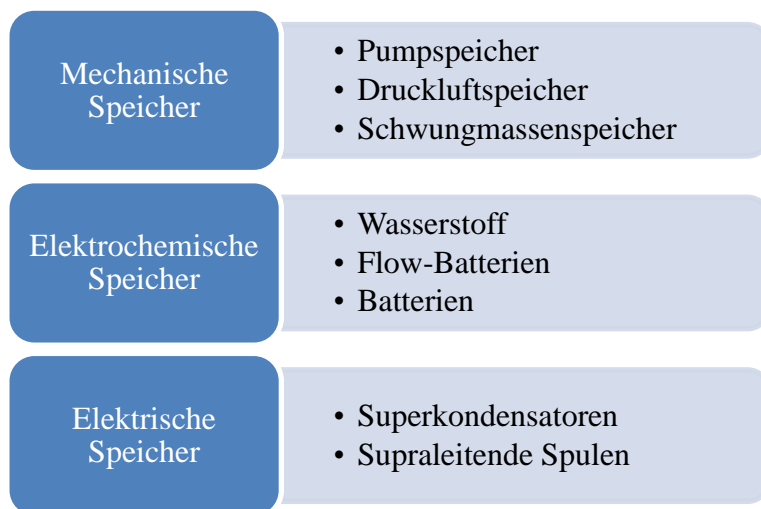
---

<sup>51</sup> Vgl. Weltenergierat 2011, S. 41 f.

<sup>52</sup> Vgl. Winter/Neddermann/Knorr/Grave/Lindenberger 2011, S. 151

<sup>53</sup> Vgl. Weltenergierat 2011, S. 42

Aufgrund ihrer ausgereiften Technik mit Wirkungsgraden bis zu 80 % und der geringen Kosten im Vergleich zu anderen neuen Speichertechnologien haben Pumpspeicherkraftwerke aktuell einen globalen Marktanteil von mehr als 99 %. Nachteile solcher Anlagen sind die hohe Standortabhängigkeit wegen der erforderlichen Höhendifferenz von Ober- und Unterbecken und die Akzeptanzprobleme innerhalb der Bevölkerung im Falle eines Neubaus.<sup>54</sup> Außerdem ist das Ausbaupotenzial in Deutschland aus topographischen Gründen sehr gering.<sup>55</sup>



**Abbildung 6:** Übersicht über mögliche Speichertechnologien

Quelle: eigene Darstellung auf der Basis vom Weltenergiarat 2011, S. 43

Vor dem Hintergrund der begrenzten Ausbaumöglichkeiten der Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland kommt dem technischen Fortschritt alternativer Stromspeicher eine entscheidende Rolle bei der Systemintegration der erneuerbaren Energien zu.

Schwungmassenspeicher können nur zur Überbrückung von Erzeugungsschwankungen im Sekundenbereich (Deckung der Spitzenlast) eingesetzt werden und stellen somit für die Regelernergie<sup>56</sup> keine Option dar. Druckluftspeicher oder Strömungsbatterien wären für die Bereitstellung von Regelleistungen vorstellbar. Beide Technologien befinden sich in der Entwicklungsphase.<sup>57</sup> Druckluftspeicher verfügen derzeit wegen ihres niedrigen Wirkungsgrades und Strömungsbatterien wegen ihrer hohen Kosten nicht über die

<sup>54</sup> Vgl. ebenda, S. 43

<sup>55</sup> Vgl. Hennicke/Fischedick 2010, S. 81

<sup>56</sup> Regelernergie (Regelleistung) ist die Energie, welche die Versorgung bei unvorhergesehenen Ereignissen im Stromnetz gewährleistet.

<sup>57</sup> Vgl. Hennicke/Fischedick 2010, S. 81

erforderliche Marktreife. Die chemische Speicherung des Stroms als Wasserstoff, bei der überschüssiger Strom aus erneuerbarer Energie elektrochemisch in Wasserstoff umgewandelt wird, ist eine weitere Möglichkeit. Diese Technik befindet sich ebenfalls in einer frühen Forschungs- und Entwicklungsphase und ist somit großtechnisch noch nicht anwendbar.<sup>58</sup>

Deutschland hatte im Jahr 2010 Stromspeicher mit einer Leistung von 11.025 MW und einer Speicherkapazität von 40 Mio. kWh. Die Stromaufnahme dieser Speicher wird sich laut AEE von 9,2 Mrd. kWh im Jahr 2007 auf rund 18 Mrd. kWh im Jahr 2020 verdoppeln. Im Jahr 2050 liegt der Speicherbedarf bereits bei 30 Mrd. kWh.<sup>59</sup>

Die Stromerzeugung wird zukünftig aufgrund des Zubaus von Wind- und Solaranlagen stark schwanken. Um die Netzstabilität zu sichern, muss mehr Reserve- und Regelleistung bereitgestellt werden. Dies führt wiederum dazu, dass mehr Speicherkapazität im Netz verfügbar sein muss. Die derzeitigen Probleme der Stromspeicher sind niedrige Wirkungsgrade, hohe Investitions- und Betriebskosten und die niedrige Lebensdauer.<sup>60</sup> Die Investitionskosten sind aufgrund der unterschiedlichen Einsatzbereiche und Entwicklungsstadien der Stromspeicher schwer zu beziffern. Die Schätzungen reichen je nach Speichertechnologie und Einsatzgebiet von 25 Euro je kWh Output bis zu 200.000 Euro je kWh Output. Die Wirkungsgrade erstrecken sich heute von 20 % bis zu 95 %.<sup>61</sup>

Nach Meinung des Verfassers verdeutlichen die großen Unterschiede bei Investitionskosten und Wirkungsgraden, dass der Forschungsbedarf bei Stromspeichern sehr groß ist. Die einzige Technologie, die aktuell im deutschen Markt unter tragbaren Kosten eingesetzt werden kann, ist das Pumpspeicherkraftwerk. Da der Ausbau dieser Kraftwerke, wie erwähnt, topographisch begrenzt ist, steht es außer Diskussion, dass für eine zukünftige stabile Energieversorgung Alternativen entwickelt werden müssen. Sowohl Politik als auch Wirtschaft müssen sich darüber im Klaren sein, dass bei einer prognostizierten Verdoppelung der Stromaufnahme durch Speicher bis 2020 die aktuell verfügbaren Kapazitäten bei weitem nicht ausreichen werden. Die Wissenschaft sieht daher dringenden Handlungsbedarf seitens der deutschen Regierung. Der Autor vertritt dabei die Position, dass das Energiekonzept im

---

<sup>58</sup> Vgl. Weltenergieatlas 2011, S. 43 f.

<sup>59</sup> Vgl. Mahnke/Mühlenhoff 2012, S. 5

<sup>60</sup> Vgl. Dötsch/Kanngießer/Wolf 2009, S. 351 ff.

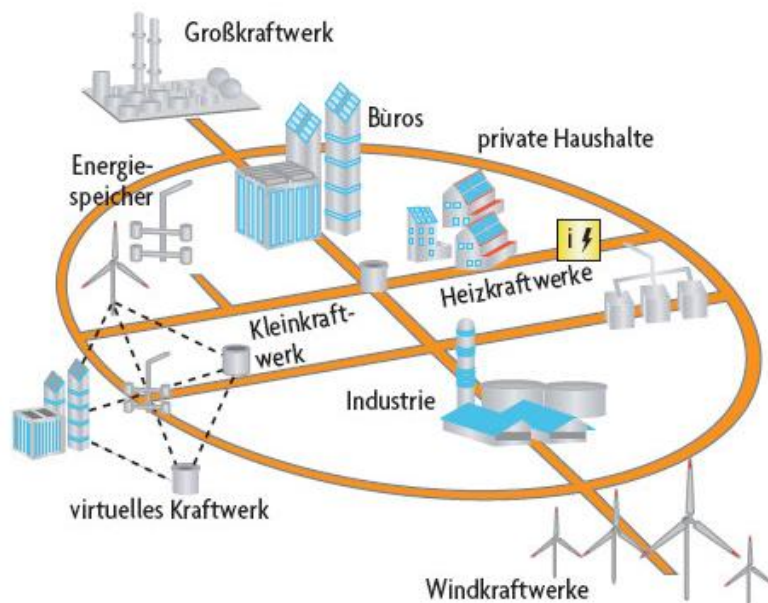
<sup>61</sup> Vgl. Mahnke/Mühlenhoff 2012, S. 7 ff.



Hinblick auf Weiterentwicklung der Speichertechnologien mangelhaft ist. Es fehlt an wirtschaftlichen Anreizen und finanziellen Fördermitteln, damit die Unternehmen die Speicherforschung vorantreiben.

### 3.1.2.3 Intelligente Stromnetze

Ein intelligentes Verteilernetz, ein sogenanntes **Smart Grid**, ist neben dem erforderlichen Ausbau des Übertragungsnetzes eine weitere Chance, die Stromnetz-Infrastruktur zu verbessern. Ziel ist das Stromangebot der Erzeuger, die Energiespeicher und die Stromnachfrage der Verbraucher in ein entsprechendes Gleichgewicht zu bringen. Gegenwärtig ist die Hauptaufgabe des Verteilernetzes die nachgefragte Energie der Verbraucher zu verteilen. In Zukunft soll es gleichzeitig zur Energieverteilung und Informationsbeschaffung dienen.<sup>62</sup>



**Abbildung 7:** Das intelligente Energienetz der Zukunft - Smart Grid

Quelle: WEKA Fachmedien 2012

---

<sup>62</sup> Vgl. Weltenergieat 2011, S. 40

Diese gesammelten Informationen eröffnen viele neue Möglichkeiten<sup>63</sup>:

- rasche Fehler- und Störungslokalisierung durch moderne Sensorik z.B. General Pocket Radio Service (GPRS)
- automatische „Selbstheilung“ des Systems ohne Versorgungsunterbrechung
- Basis-Infrastruktur für moderne Energielogistik
- aktive Teilnahme der Stromkunden am Strommarkt durch Steuerung des eigenen Verbrauches mittels Preissignalen

Rifkin (2011, S. 66) geht in seinen Ausführungen bereits einen Schritt weiter und spricht von einem Energie-Internet. Diese neue Autobahn für den Transport von elektrischem Strom soll Millionen Stromerzeugern die Möglichkeit bieten in einem Peer-to-Peer-Netz (P2P) Energieüberschüsse zu teilen.

P2P definiert den Zusammenschluss von gleichberechtigten Computern in Netzwerken. Diese Netzwerke ermöglichen den Einsatz von verteilten Anwendungen und den Austausch von Dateien.<sup>64</sup> Das Paradebeispiel für ein solches P2P-Netz ist die frühere Musiktauschbörse Napster.

Nach Meinung von Rifkin (2011, S. 66 ff.) wird das Energie-Internet alle - private Haushalte, Dienstleistungsbetriebe, Industrie, Fahrzeuge - miteinander verbinden, um Informationen und Energie auszutauschen. Die intelligenten Stromnetze werden mit Hilfe von aktuellen Wetterdaten, den Energiefluss lenken und diesen jederzeit den Wetterbedingungen und dem Verbraucherbedarf anpassen. Darüber hinaus wird das Energie-Internet den Stromverbrauch von Geräten steuern. Droht beispielsweise eine Netzüberlastung oder ein Stromengpass, wird die Software irgendwo eine Waschmaschine anweisen, einen Spülgang pro Füllung auszulassen, damit der Stromverbrauch sinkt. Echtzeitinformation und digitale Stromzähler ermöglichen eine dynamische Preisgestaltung und versorgen den Verbraucher rund um die Uhr mit Informationen zu den aktuellen Strompreisen. So bietet sich für den Konsumenten die Möglichkeit, je nach Preis den Stromverbrauch automatisch zu erhöhen oder zu senken. Die Energieproduzenten werden ebenfalls laufend über Preise informiert. Auf dieser Grundlage

---

<sup>63</sup> Vgl. ebenda, S. 40

<sup>64</sup> Vgl. Gabler Verlag 2012 (3)

entscheiden die Stromerzeuger, wann der beste Zeitpunkt zum Stromverkauf im Netz ist oder ob sie vorübergehend vom Netz gehen.

#### **3.1.2.4 Flexibler Kraftwerkspark**

Die konventionellen Kraftwerke - betrieben mit Kohle, Öl, Gas oder Kernenergie - stehen aufgrund der möglichen Schwankungen der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und der daraus resultierenden eingeschränkten Prognostizierbarkeit vor neuen Herausforderungen.

Durch den Ausbau der erneuerbaren Energien ändert sich das Betriebsverhalten der Kraftwerke. Sie müssen künftig flexibler und kurzfristiger auf Lastschwankungen, Residuallast und Erzeugungsausfälle reagieren können.<sup>65</sup> Residuallast ist die verbleibende Stromnachfrage nach Abzug des Stromangebots der erneuerbaren Energien.<sup>66</sup> Die Erzeugung wird sich vom Grundlastbereich in Richtung Mittel- und Spitzenlast verschieben. Deshalb wird es zukünftig vermehrt zu An- und Abfahrvorgängen kommen. Der Kraftwerkspark der Zukunft muss über ein gutes Teillastverhalten, die Fähigkeit zu schnellen Warm- und Kaltstarts, kurze Mindeststillstandszeiten und niedrige An- und Abfahrkosten verfügen.<sup>67</sup>

Die heutigen Kraftwerkstechnologien müssen z.B. durch Modernisierung der Leittechnik und Generatoren sowie Optimierung des Kühlkreislaufes anpassungsfähiger werden. Kohlekraftwerke, Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerke und Gasmotorenkraftwerke sind in der Lage eine flexible Betriebsweise zu erfüllen.<sup>68</sup>

Infolge des wachsenden Beitrags der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung kommt es auch bei der Erbringung von Systemdienstleistungen zu einem Wandel. Zu den Systemdienstleistungen zählt die Stützung des Netzes im Fehlerfall, bei Kurzschlüssen und bei gleichzeitigem Ausfall großer Erzeugungskapazitäten. Diese wurden bisher von den konventionellen Kraftwerken erbracht und müssen zukünftig größtenteils von den erneuerbaren Energien selbst getragen werden. Der Fortschritt in den letzten Jahrzehnten zeigt, dass die erneuerbaren Energien grundsätzlich in der Lage sind, diese Systemdienstleistungen zu übernehmen. Biomassekraftwerke und Wasserkraftwerke können

---

<sup>65</sup> Vgl. Weltenergieat 2011, S. 25

<sup>66</sup> Vgl. Wikipedia 2012 (3)

<sup>67</sup> Vgl. Weltenergieat 2011, S. 36

<sup>68</sup> Vgl. ebenda, S. 36

durch Speichermöglichkeiten nahezu ohne Erzeugungsverluste arbeiten. WEA sind ebenfalls in der Lage ihre Wirkungsleistung aktiv zu beeinflussen und könnten so auch ihren Teil zur Systemstabilität beitragen.<sup>69</sup>

Eine Möglichkeit diese dezentralen Stromerzeugungsanlagen miteinander zu vernetzen und zentral zu steuern wäre das sogenannte „**Virtuelle Kraftwerk**“ (vgl. Abb. 7, S. 34). Dieses Netzwerk von dezentralen, kleineren Erzeugungsanlagen kann mit einem zentralen Großkraftwerk verglichen werden. Die Stromnachfrage wird aufeinander abgestimmt, damit Kraftwerksleistung eingespart werden kann. Im Verbund mit zu- und abschaltbaren Verbrauchern und dezentralen Speichermöglichkeiten könnte dieses Konzept den Einsatz der einzelnen Anlagen optimieren. Folglich würde es zu einem wirtschaftlichen Zusatznutzen und einer Minimierung der CO<sub>2</sub>-Emission kommen. Dieses Projekt befindet sich in der Entwicklungsphase und hat die Marktreife noch nicht erreicht.<sup>70</sup>

### 3.1.2.5 Weiterentwicklung des Marktes

Der Inhalt des folgenden Abschnitts basiert im Wesentlichen auf einer Studie des Weltenergieerats (2011, S. 48-51). In dieser Veröffentlichung betont er, dass der Ausgleich von zeitlichen und geografischen Erzeugungsschwankungen der erneuerbaren Energien mit einer Verknüpfung von Netzausbau, Erweiterung der Energiespeicher, Smart Grids und flexiblen Kraftwerken zu schaffen ist. Er vertritt aber auch die Meinung, dass die derzeitigen rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen am Energiemarkt für eine volle Ausschöpfung der Netzkapazitäten und Flexibilitätspotenziale auf der Erzeuger- und Verbraucherseite nicht ausreichend sind.

Vor diesem Hintergrund werden in der Studie des Weltenergieerats wichtige Ansätze zur Weiterentwicklung des Marktdesigns behandelt. Folgende Maßnahmen würden die Marktintegration der erneuerbaren Energien noch effizienter gestalten:

- Grenzüberschreitender Intraday-Markt und Marktkopplung
- Marktbasierende Förderung der erneuerbaren Energien
- Einbindung der erneuerbaren Energien in den Regelenergiemarkt

---

<sup>69</sup> Vgl. Weltenergieerats 2011, S. 37

<sup>70</sup> Vgl. ebenda, S. 38

Aufgrund der Schwankungen von Wind- und PV-Stromerzeugung ist es für den Markt von Bedeutung, dass dieser Strom mit sehr kurzen Vorlaufzeiten innerhalb eines Tages (intraday) und grenzüberschreitend verwendet werden kann. Die stetige Verbesserung der Prognosequalität ermöglicht es, die Abweichung zwischen Prognose und tatsächlicher Erzeugung nicht nur über den Regelleistungsmarkt, sondern auch über den Intraday-Markt auszugleichen. Die deutsche Energiewirtschaft handelt Einzelstunden des laufenden Tages mit einer Vorlaufzeit bis 75 Minuten vor Lieferbeginn über den Intraday-Markt der European Power Exchange (EPEX). Kürzere Lieferperioden (beispielsweise 15 Minuten statt 1 Stunde) und eine Verminderung der Vorlaufzeiten (etwa 30 Minuten anstelle von 75 Minuten) würden das Auf und Ab der erneuerbaren Energien und die Lastverschiebungen von Verbrauchern besser decken und die Liquidität im Markt steigern.

Sowohl die Lieferperioden (Einführung von 15-Minuten-Kontrakten) als auch die Vorlaufzeiten (derzeit 45 Minuten vor Lieferbeginn) wurden seitens der EPEX für den deutschen Intraday-Handel bereits angepasst.<sup>71</sup>

Die Intraday-Märkte der europäischen Länder bilden die Basis für einen intensiven Stromaustausch. Dieser dynamische Austausch sorgt dafür, dass die Übertragungsnetzkapazitäten effizient genutzt werden. Um Netzengpässe an den Grenzkuppelstellen der Marktteilnehmer zu minimieren, werden die Kapazitäten durch sogenannte Marktkopplung koordiniert. Bei der Marktkopplung wird das Stromhandelsgeschäft zusammen mit der Vergabe der grenzüberschreitenden Transportkapazität abgeschlossen.

Neben der Optimierung des Intraday-Handels und der Engpassbewirtschaftung mittels Marktkopplung ist der Übergang zur marktbasierten Förderung der erneuerbaren Energien ein weiteres Mittel, um das Marktangebot besser der Nachfrage anzupassen. Das Fördersystem des EEG mit fixen Einspeisetarifen setzt bisher keine Anreize für eine bedarfsgerechte Stromerzeugung und so bleibt das Flexibilitätspotenzial der erneuerbaren Energien auf der Strecke. Darum ist es wichtig, das Fördersystem bedarfsgerechter und mengenorientierter zu gestalten, um auf die Veränderungen der Stromnachfrage leichter reagieren zu können.

---

<sup>71</sup> Vgl. EPEX SPOT 2012

Beispielsweise könnte durch ein Marktpremien-Modell eine direkte Kopplung der Erzeugung an die Marktpreise geschaffen werden. Dadurch würde für Betreiber von regelbaren Produktionsanlagen, z.B. Biomasse und Wasserkraft, ein Anreiz entstehen, ihre Erzeugung in die Stunden mit den höchsten Strompreisen zu verlagern und so die hohe Nachfrage und/oder geringe Erzeugung aus Wind- und Solarenergie zu nutzen. In Handelsstunden mit negativen Strompreisen schafft die Marktpremie einen wirtschaftlichen Anreiz die Stromerzeugungsanlagen vom Netz zu nehmen, weil dann die Abregelung für den Betreiber am wirtschaftlichsten ist. Die Abregelung könnte in diesem Fall günstiger sein, als ein konventionelles Kraftwerk für wenige Stunden ab- und anzufahren.

Eine stärkere Beteiligung der erneuerbaren Energien am Regelenergiemarkt würde zu einer Erhöhung des Angebots an Regelleistung und dementsprechend zu einer Kostensenkung beitragen. Derzeit sind konventionelle Kraftwerke dazu gezwungen, ihre negative Regelleistung in Stunden mit niedrigen oder negativen Strompreisen anzubieten. Die daraus resultierenden Verluste werden durch höhere Preise am Regelleistungsmarkt ausgeglichen. Künftig könnten diese Aufgabe WEA für negative Regelernergie und Biomasseanlagen aufgrund größerer Biogasspeicher für positive Regelleistung übernehmen. Noch fehlt für Produzenten erneuerbarer Energien der wirtschaftliche Anreiz sich zu engagieren, weil das EEG fixe Einspeisetarife bietet. Volkswirtschaftlich sinnvoll wäre eine verpflichtende Teilnahme der erneuerbaren Energien am negativen Regelenergiemarkt, dazu benötigt es eine Weiterentwicklung des EEG.

### **3.1.3 Erneuerbare Energien: Chancen und Risiken**

Der Ausbau der erneuerbaren Energien eröffnet der deutschen Energieversorgung zwar eine Vielzahl von Möglichkeiten, birgt aber auch einige Probleme. Eine ausführliche Analyse der Chancen und Risiken des Ausbaus der erneuerbaren Energien würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Deshalb werden in diesem Kapitel lediglich die wesentlichen Vor- und Nachteile des zukünftigen Energiesystems aus heutiger Sichtweise behandelt.

Diese Argumente sprechen für einen Ausbau der erneuerbaren Energien<sup>72</sup>:

- Die **Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emission** schützt das Klima. Im Jahr 2011 wurden in Deutschland 126 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Bereitstellung von Strom, Wärme und Kraftstoffen vermieden.<sup>73</sup> Das sind rund 17 % der gesamten deutschen energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen von 755 Mio. t.<sup>74</sup>
- Erneuerbare Energien sind im Vergleich zu fossilen Energien eine relativ junge Technologie. Daher ist zukünftig in der Produktion mit enormen **Kostendegressionseffekten** zu rechnen.
- Die Nutzung regenerativer Energiequellen **diversifiziert das Energieangebot**. Folglich reduziert sie die Importabhängigkeit von Öl und Gas, erhöht die Versorgungssicherheit und vermindert die Gefahr von Rohstoffkonflikten.
- Der Ausbau der erneuerbaren Energien **sichert** langfristig die **Wettbewerbsfähigkeit** Deutschlands und führt zu einer **Abkopplung** von schwankenden, tendenziell **steigenden Preisen der fossilen Energieträger**.
- Erneuerbare Energien sind **heimische Energieträger**. Deshalb stärken sie die **regionale Wertschöpfung**, schaffen zusätzliche **Arbeitsplätze** und intensivieren den **Export** dieser Technologien.
- Das **Oligopol** aus vier großen Unternehmen (RWE, E.ON, EnBW, Vattenfall) mit einem Marktanteil von rund 90 % an der deutschen Stromerzeugung kann durch zahlreiche neue Marktteilnehmer geknackt werden. Folglich reduziert sich deren **Marktmacht** und es entsteht mehr **Wettbewerb**.

Folgende Risiken sind mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien verbunden<sup>75</sup>:

- Heutzutage sind die **Herstellungskosten** der erneuerbaren Energien noch **teurer** als die der konventionellen Energieträger. Unter Berücksichtigung von volkswirtschaftlichen Kosten (beispielsweise die durch Energiegewinnung, -umwandlung, -nutzung verursachten Schäden) und Kosten für die CO<sub>2</sub>-Emissionsrechte wird der Abstand deutlich kleiner.

---

<sup>72</sup> Vgl. Hennicke/Fischedick 2010, S. 13 ff.

<sup>73</sup> Vgl. BMU 2012 (2)

<sup>74</sup> Vgl. BMWi-Energiedaten 2011, Tabelle 11

<sup>75</sup> Vgl. Hennicke/Fischedick 2010, S. 13 ff.

- Das Energienetz steht vor neuen Herausforderungen, da viele erneuerbare Energien aufgrund ihrer **geringen Energiedichte** dezentralisiert und ortsgebunden verwendet werden müssen.
- Die Erzeugungsschwankungen und die Prognosequalität der Wind- und Sonnenenergie stellen aus heutiger Sicht ein Risiko für die Versorgungssicherheit dar. Es müssen die Prognosesysteme, Speichermöglichkeiten und Kraftwerke weiterentwickelt werden.
- Die **dezentrale Struktur** der erneuerbaren Energien erfordert eine rasche Erweiterung des Energienetzes.
- Die **Reaktion** der Gesellschaft auf die Eingriffe in **Landschaftsbild** und **Umwelt** ist nicht vorhersehbar.

Vor dem Hintergrund der hier dargelegten Befunde ist anzunehmen, dass aus rein wirtschaftlicher Sicht die Gründe für einen Ausbau der erneuerbaren Energien überwiegen. Aus dem Blickwinkel der deutschen Bevölkerung ist hingegen in Frage zu stellen, ob Politik und Wirtschaft die Gesellschaft ausreichend mit nachvollziehbaren Informationen im Bezug auf Versorgungssicherheit, Landschaftsbild, Umwelt und Kosten versorgen.

### 3.1.4 Volkswirtschaftliche Effekte der erneuerbaren Energien

Der Ausbau der erneuerbaren Energien hat eine Reihe von positiven Wirkungen auf die deutsche Volkswirtschaft. Er führt zu größerer Wirtschaftsleistung, regionaler Wertschöpfung, zusätzlichen Investitionen, mehr Arbeitsplätzen und senkt langfristig die Energiekosten. Darüber hinaus bieten erneuerbare Energien enorme Exportmöglichkeiten. Zu diesen Ergebnissen kam eine Studie von Lehr/Lutz/Pehnt im Januar 2012.

Im Jahr 2010 wurden in Deutschland ungefähr 28 Mrd. Euro in den Bau und Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien investiert. Im Vergleich zum Jahr 2004 (rund 9 Mrd. Euro) bedeutet das eine Steigerung von 211 %.<sup>76</sup>

Die dynamische Investitionstätigkeit in diesem Bereich führt zu mehr direkter Beschäftigung bei Produzenten, Betreibern und Dienstleistungsunternehmen. Die Nachfrage dieser

---

<sup>76</sup> Vgl. BMU 2011, S. 18



Unternehmen nach Produkten in anderen Wirtschaftssektoren schafft wiederum indirekte Arbeitsplätze in der Vorleistungs- und Zulieferindustrie. Folglich waren im Jahr 2010 367.400 Personen mit erneuerbaren Energien beschäftigt. Gegenüber 2004 hat sich die Anzahl der Beschäftigten in diesem Bereich ausgehend von 160.500 mehr als verdoppelt. Bis zum Jahr 2030 soll die Beschäftigung durch erneuerbare Energien bei 500.000 bis 600.000 Personen liegen.<sup>77</sup>

Neben vermehrter Investitionstätigkeit und zusätzlichen Arbeitsplätzen werden durch den Ausbau der erneuerbaren Energien langfristig die Erzeugungskosten deutlich reduziert. Über die nächsten Jahre sind die Kosten im Vergleich zu konventionellen Energieträgern noch höher. Ab 2027 soll die Nutzung der erneuerbaren Energien zu sinkenden Stromkosten beitragen. Eine dynamische Eingliederung in den deutschen Strommarkt wird diesen Prozess beschleunigen.<sup>78</sup> Sowohl bei Windkraft als auch bei Photovoltaik werden drastische Kostensenkungen erwartet. Grund dafür ist vor allem der Ausbau der Großserienfertigung. Er bewirkt durch rationellere Produktionsverfahren und Einsatz von neuen Technologien eine spürbare Reduktion der Herstellungskosten.<sup>79</sup>

Weitere positive Effekte sind:<sup>80</sup>

- Steigerung der Technologieexporte: Unter verhaltener Annahme steigt das Exportvolumen von 7 Mrd. Euro im Jahr 2007 auf 20 Mrd. Euro im Jahr 2020 und 2030 auf 33 Mrd. Euro.
- Reduktion der fossilen Energieimporte: Die Zahlen des BMU (2011, S. 16) belegen, dass in den Bereichen Strom, Wärme und Verkehr im Jahr 2010 bereits 7 Mrd. Euro an Kosten eingespart wurden.
- Verringerung der Emission von Treibhausgasen: Wahrscheinlich 200 Mio. t CO<sub>2</sub> weniger im Jahr 2030.

---

<sup>77</sup> Vgl. Lehr/Lutz/Pehnt 2012, S. 5 f.

<sup>78</sup> Vgl. ebenda, S. 7

<sup>79</sup> Vgl. Quaschnig 2011, S. 370 f.

<sup>80</sup> Vgl. Lehr/Lutz/Pehnt 2012, S. 16-18

## **3.2 Formel für die Energiewende: Energieeffizienz und Energieeinsparung**

### **3.2.1 Einsparpotenziale in Deutschland**

Deutsche Haushalte geben jährlich 107 Mrd. Euro für Energie aus. Von diesen Kosten entfiel im Jahr 2010 der größte Anteil auf Kraftstoffe mit 44 Mrd. Euro. Zweitgrößte Position waren die Energiekosten für Raumwärme und Warmwasser mit 40 Mrd. Euro. Der Rest von 23 Mrd. Euro resultiert aus Kochen, Haushaltsgeräten und Beleuchtung.<sup>81</sup> Deutsche Unternehmen in den Bereichen Industrie, Handel, Gewerbe und Dienstleistungen haben im Jahr Energiekosten in der Höhe von 70 Mrd. Euro.<sup>82</sup>

Daraus ergeben sich nach ersten Schätzungen energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen von 777 Mio. t in Deutschland. Den größten Anteil hat mit 349 Mio. t die Energiewirtschaft, gefolgt vom Verkehr mit 154 Mio. t, auf das Konto der Haushalte gehen 112 Mio. t und auf Kleinverbraucher und das verarbeitende Gewerbe entfallen 161 Mio. t.<sup>83</sup>

Verschiedene Studien belegen, dass in Deutschland enormes Einsparpotenzial bei den Energiekosten vorhanden ist. Namhafte Institute wie McKinsey, Prognos AG und Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie kamen zu dem Ergebnis, dass die wirtschaftlichen und technischen Einsparpotenziale in Deutschland zwischen 38 und 53 Mrd. Euro liegen. Beispielsweise spricht McKinsey von Einsparungen bei Haushalten, Unternehmen und im Verkehr von 53 Mrd. Euro. Bei Energiekosten in Deutschland von jährlich 200 Mrd. Euro könnten ungefähr 25 % eingespart werden. Im Verkehr gibt es ein Einsparpotenzial von 22 Mrd. Euro, bei Gebäuden von 21 Mrd. Euro und in der Industrie 10 Mrd. Euro.<sup>84</sup>

#### **3.2.1.1 Unternehmen**

Deutsche Unternehmen sind 2010 mit einem Anteil von 44 % am Endenergieverbrauch die größten Verbraucher von Energie. Die Industrie verbraucht 28 % der gesamten Energie in Deutschland und die Branchen Gewerbe, Handel und Dienstleistungen beanspruchen 15 %

---

<sup>81</sup> Vgl. BMWi-Energiedaten 2011, Tabelle 28

<sup>82</sup> Vgl. Gege/Heib 2011, S. 74

<sup>83</sup> Vgl. BMWi-Energiedaten 2011, Tabelle 9

<sup>84</sup> Vgl. Gege/Heib 2011, S. 75 f.

der deutschen Energierechnung.<sup>85</sup> In einzelnen Wirtschaftszweigen wie z.B. die Stahl- oder Zementindustrie liegen die Energiekosten zwischen 35 und 50 % der Bruttowertschöpfung.<sup>86</sup>

Vor diesem Hintergrund sollen nachfolgende Beispiele einen Einblick geben, wie mit gezielten Energieeffizienzmaßnahmen die Energiekosten gesenkt werden können.

Konkret lassen sich durch den Einsatz von intelligenter Automatisierungstechnik, wie bessere Messung und präzisere Regelung von Prozessen, im Industriebereich ungefähr 10 bis 25 % an Energie einsparen. Dies bedeutet 88 Mrd. kWh weniger Energie und eingesparte Kosten von jährlich bis zu 7 Mrd. Euro.<sup>87</sup>

Durch Optimierung der Industriebeleuchtung mittels moderner Lichtsysteme könnten die Energiekosten um 75 % gesenkt werden. So würden jährlich Kosten von 1,2 Mrd. Euro eingespart werden.<sup>88</sup>

In deutschen Server- und Rechenzentren ließen sich durch die Trennung aktiv verwendeter und ruhender Daten, energieeffiziente Gebäudetechnik oder neue Geräte innerhalb von fünf Jahren 3,6 Mrd. Euro an Energiekosten einsparen.<sup>89</sup>

Die öffentliche Hand könnte die Energiekosten ihres Gebäudebestands von jährlich ungefähr 4,7 Mrd. Euro beispielsweise durch energetische Vollsanierung mit Wärmedämmung um rund 50 % senken. Das bedeutet insgesamt 2,4 Mrd. Euro Einsparpotenzial allein in den öffentlichen Gebäuden.<sup>90</sup>

Die wesentlichen Gründe für die mangelhafte Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen im Unternehmensbereich sind folgende:<sup>91</sup>

- kein Kapital für Investitionen,
- Mittel sind für andere Anlagen gebunden,

---

<sup>85</sup> Vgl. BMWi-Energiedaten 2011, Tabelle 5

<sup>86</sup> Vgl. Frontier Economics/EWI 2010, S. 217

<sup>87</sup> Vgl. Gege/Heib 2011, S. 81

<sup>88</sup> Vgl. ebenda, S. 82

<sup>89</sup> Vgl. ebenda, S. 85

<sup>90</sup> Vgl. ebenda, S. 87 f.

<sup>91</sup> Vgl. ebenda, S. 214

- fehlendes Wissen,
- lange Amortisationsdauer,
- Zeitmangel.

Daraus lässt sich ableiten, dass die öffentliche Hand den deutschen Unternehmen sowohl finanzielle Mittel als auch Know-How zur Verfügung stellen muss, damit Energieeffizienzmaßnahmen umgesetzt werden können. Der Autor vertritt dabei die Position, dass die deutsche Regierung als Vorbild fungieren und ihre eigene Energierechnung sanieren muss. Die dadurch frei werdenden Mittel in Milliardenhöhe sollen, wie im Energiekonzept angedacht, in einen Energieeffizienzfonds gebündelt werden und in Form von günstigen Krediten und Förderungen den deutschen Unternehmen zur Verfügung gestellt werden. Mit vergleichsweise einfachen Maßnahmen und Wegen könnte auf lange Sicht die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Unternehmen gesichert werden.

### **3.2.1.2 Private Haushalte**

Deutsche Haushalte benötigten im Jahr 2010 29 % der gesamten Endenergie in Deutschland.<sup>92</sup> Konkret ist der Energiekostenanteil an den Konsumausgaben 7,5 %. Die Energierechnung der privaten Haushalte betrug 2010 107 Mrd. Euro. Davon wurden 41 % für das Autofahren ausgegeben, 38 % für Raumwärme und Warmwasser und die restlichen 21 % entfielen auf Kochen, Waschen, Elektrogeräte, Haushaltsgeräte, Information, Kommunikation und Beleuchtung.<sup>93</sup> Dennoch ist der größte Energieverbraucher im Privathaushalt der Konsum inklusive Ernährung. Die Energie, die durch Herstellung, Lagerung, Verkauf und Entsorgung von Produkten verbraucht wird, ist für Konsumenten nicht messbar. Daher spricht man von sogenannten „grauen“ Energiekosten.<sup>94</sup>

Laut Statistischem Bundesamt gab es in Deutschland zum Jahresende 2010 40,5 Mio. Wohnungen.<sup>95</sup> 75 % dieses Gebäudebestandes wurden vor 1979 gebaut und erfüllen somit nicht die heute üblichen Energieeffizienzstandards. Der Wärmebedarf dieser Gebäude kann bis zu 300-350 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (kWh/m<sup>2</sup>a) betragen. Heutzutage liegt der Energieverbrauch bei Passivhäusern oder Neubauten zwischen 40 und 90 kWh/m<sup>2</sup>a.

---

<sup>92</sup> Vgl. BMWi-Energiedaten 2011, Tabelle 5

<sup>93</sup> Vgl. ebenda, Tabelle 8

<sup>94</sup> Vgl. Gege/Heib 2011, S. 94

<sup>95</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt 2012

Somit ließen sich mit energetischer Altbausanierung die Energiekosten für Heizwärme drastisch senken. Trotz bestehender Förderprogramme seitens der Bundesregierung und der KfW ist die Sanierungsrate mit einem Prozent sehr gering. Die Sanierungsrate muss auf mindestens 5 % erhöht werden, damit eine vollständige Erneuerung des Gebäudebestandes innerhalb von 20 Jahren möglich ist. Auch in diesem Bereich fehlt es an wirtschaftlichen und finanziellen Anreizen, damit Hauseigentümer selbst Investitionen tätigen.<sup>96</sup>

Auch beim Stromverbrauch der Haushalte gibt es enormes Einsparpotenzial. Beispielsweise kostet allein der Leerlauf von Elektrogeräten 17 Mrd. kWh. Dies bedeutet unnötige Energieausgaben von 3,3 Mrd. Euro oder die Jahresproduktion eines Kernkraftwerks. Durch den Austausch von Altgeräten z.B. bei Kühl- und Gefriergeräten könnten jährlich ungefähr 8 Mrd. kWh an Strom eingespart werden. Effiziente Beleuchtung würde den Stromverbrauch um rund 1,1 Mrd. Euro senken.<sup>97</sup>

Die Fahrzeuge auf Deutschlands Straßen verbrauchen aktuell durchschnittlich sieben bis acht Liter auf 100 km. Näher betrachtet wären heute Verbräuche von 3,8 Liter Diesel auf 100 km mit einem VW Golf Blue Motion und 3,9 Liter Benzin mit einem Toyota Prius technisch möglich. Bei gefahrenen 478 Mrd. Jahreskilometern mit Benzin- und Dieselmotoren könnten ungefähr 26 Mrd. Euro an Energiekosten ohne viel Erfindungsgeist gespart werden. Würde man noch einen Schritt weitergehen und die Motoren durch einen Elektroantrieb ersetzen, könnten die Energiekosten um 43 Mrd. Euro gesenkt werden, da der Durchschnitts-PKW derzeit zwischen zwölf (Diesel) und 14 Euro (Benzin) auf 100 km benötigt. Der Preis für elektrischen Strom liegt aber nur bei drei bis fünf Euro auf 100 gefahrenen Kilometern.<sup>98</sup>

Die angeführten Beispiele zeigen, dass es in vielen Bereichen großes Einsparpotenzial gibt. Diese Potenziale wären mit heutigem technischem und fachlichem Wissen zu erschließen. Die privaten Haushalte haben es selbst in der Hand, die Effizienz in ihren Wohnungen und Garagen zu steigern. Solange der deutsche Konsument weiter Benzin- und Dieselautos nachfragt und die Autoindustrie von Absatzrekord zu Absatzrekord eilt, wird aus rein wirtschaftlicher Sicht kein Umdenken bei den Unternehmen stattfinden. Warum sollte die Autoindustrie Milliarden in die Entwicklung von Elektromotoren investieren, wenn sich mit

---

<sup>96</sup> Vgl. Gege/Heib 2011, S. 96 ff.

<sup>97</sup> Vgl. ebenda, S. 98 ff.

<sup>98</sup> Vgl. ebenda, S. 100

etablierten Benzin- und Dieselmotoren Gewinne erwirtschaften lassen und es von staatlicher Seite wenig Unterstützung gibt, noch dazu wenn der Staat selber Milliardenbeträge aus der Mineralölsteuer lukriert? Mit anderen Worten die privaten Haushalte entscheiden, wo der Weg in Zukunft hingeht, da sie mit ihren Konsumausgaben den deutschen Wirtschaftsmotor am Laufen halten.

### **3.2.2 Steigerung der Energieeffizienz**

#### **3.2.2.1 Intelligente Stromzähler**

Der Inhalt des folgenden Abschnitts beruht im Wesentlichen auf Servatius/Schneidewind/Rohlfing (2012, S. 221-230).

Der zunehmende Ausbau von erneuerbarer Energieerzeugung aus Wind und Sonne verursacht eine variable, nicht steuerbare Stromeinspeisung. Dies führt sowohl zu schwankenden Strompreisen als auch zu einer ungleichmäßigen Auslastung der Stromnetze. Mit variablen Endkunden-Tarifen könnte ein Anreiz zum Lastmanagement geschaffen werden. Bewegliche Strompreise erfordern einen Apparat, der den Stromverbrauch in kurzen Intervallen - beispielsweise alle fünfzehn Minuten - erfasst und die Daten an den Netzbetreiber übermittelt. Nach ersten Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass die Konsumenten bereit wären ihr Verbraucherverhalten an flexible Tarife anzupassen. Intelligente Stromzähler (Smart Meter) wären eine Möglichkeit für eine derartige Energiemanagement-Infrastruktur. Ihre Aufgabe ist, den Stromverbrauch in kurzen Zeitabständen zu erfassen und an zentrale Abrechnungssysteme der Netzbetreiber und des Vertriebs zu übertragen und den Verbrauch transparent darzustellen.

Zwar gibt es auf dem Markt für Messwesen den ein oder anderen Pilotversuch, doch der Aufbau einer flächendeckenden Smart Metering Infrastruktur kommt nicht in Schwung. Der Grund für die Zurückhaltung der Marktteilnehmer ist die fehlende Investitionssicherheit und die hohen Anschaffungs- und Montagekosten der Stromzähler. Es fehlt aktuell nicht nur an verlässlichen Rahmenbedingungen, sondern auch an technischen Standards. Darum ist die Gefahr von sogenannten Stranded Investments derzeit groß.

Neben der fehlenden Investitionssicherheit besteht für den flächendeckenden Einsatz von Smart Metern ein grundsätzliches Problem. Das Geschäftsmodell ist mit den derzeitigen

Rahmenbedingungen nicht rentabel genug, um die notwendigen Investitionen zu refinanzieren. Die Kosten für die Smart Meter Dienstleistungen sind für viele Kunden höher als der Kostenvorteil durch Stromsparen und höhere Transparenz. Die Einsparungen für die Netzbetreiber aus Prozessoptimierung und Messdatengewinnung sprechen nicht für die Investition und den Betrieb einer Smart Metering Infrastruktur. Wenn sich die Netzkunden nicht an den Kosten beteiligen oder diese zur Gänze übernehmen, wird kein Netzbetreiber in flächendeckende Stromzähler investieren.

Um alle Vorteile der intelligenten Stromzähler auszuschöpfen, müssen diese um ein Steuerinstrument für Demand Side Management erweitert werden. Außerdem erreicht man eine flächendeckende Installation der Zähler am schnellsten und kostengünstigsten durch eine gesetzliche Verpflichtung zum Einsatz der Smart Meter. Einerseits würden technischen Mindeststandards auf der Erzeugerseite mehr Wettbewerb und Kosteneffizienz generieren, andererseits bewirkt ein verpflichtender Rollout von Smart Metern Kosteneinsparungen von ungefähr 5,7 Mrd. Euro.

Nach Meinung des Autors zeigen die genannten Argumente eindeutig, dass die Schaffung von gesetzlichen Rahmenbedingungen oberste Priorität hat, um den Markt für intelligente Stromzähler in Gang zu setzen. Darüber hinaus sind Informationsmängel beim Kunden zu beseitigen und einheitliche technische Mindestanforderungen für Stromzähler zu definieren.

### **3.2.2.2 Elektromobilität**

Der Aufbau eines Marktes für Elektromobilität könnte die Antwort auf zunehmende Rohölverknappung und tendenziell steigende Preise für Benzin und Diesel sein.

Heutzutage entfallen auf den Verkehr auf Deutschlands Straßen 28 % des Endenergieverbrauchs und 20 % der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emission. Vor diesem Hintergrund verfolgt die deutsche Bundesregierung das Ziel bis 2020 eine Million und bis 2030 sechs Millionen Elektrofahrzeuge auf deutsche Straßen zu bringen. Erste Abschätzungen von Forschungsinstituten gehen von einem Fahrzeugbestand an elektrischen PKW von ungefähr 900.000 im Jahr 2020 aus.<sup>99</sup>

---

<sup>99</sup> Vgl. Pehnt u.a. 2011, S. 222 ff.

Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass sich die globale PKW-Flotte bis 2030 verdoppelt. Somit wird die sich die Situation betreffend CO<sub>2</sub>-Emission und Energieverbrauch weiter verschärfen. Um die vorgegebenen Klimaziele zu erreichen, führt kein Weg an der Integration von Elektroantrieben in der deutschen Automobilindustrie vorbei. Außerdem verfügen Elektrofahrzeuge schon heute über deutliche Kosten- und Effizienzvorteile gegenüber herkömmlichen Autos. Aktuell liegen die durchschnittlichen Verbrauchskosten von Elektromotoren bei rund zwei bis vier Euro auf 100 km. Im Vergleich dazu brauchen Dieselmotoren 12 Euro auf 100 km. Bei steigenden Preisen für fossile Kraftstoffe geht diese Schere immer weiter zugunsten des Elektroantriebs auf. Darüber hinaus nutzt ein Elektrofahrzeug ein Viertel weniger Energie auf 100 km als ein Auto mit Dieselmotor.<sup>100</sup>

Zwar spiegeln die Argumente die Vorteile des Elektroautos wider, doch momentan hat die Technologie noch einige Aufgaben zu bewältigen. Das wohl größte Problem stellen derzeit die hohen Kosten für Batterien dar. Konkret bezahlt der Konsument für ein heutiges Elektrofahrzeug wie der Mitsubishi i MiEV doppelt bis dreimal so viel wie für ein entsprechendes Auto mit Verbrennungsmotor.<sup>101</sup> Die Industrie ist sich dieser Schwierigkeit bewusst und arbeitet an einer neuen Generation von Batterien, die geringere Kosten bei höheren Reichweiten und kürzeren Ladezeiten garantieren sollen.<sup>102</sup>

Im Augenblick steckt der Markt für Elektromobilität in Deutschland in den Kinderschuhen. Es fehlt sowohl an gesetzlichen Rahmenbedingungen als auch an der notwendigen flächendeckenden Ladeinfrastruktur.

Damit der Markt nicht dauerhaft auf staatliche Förderung angewiesen ist, müssen einfache baurechtliche und energierechtliche Rahmenbedingungen und Marktmodelle geschaffen werden. Der Staat sollte für Forschung und Entwicklung Kapital zur Verfügung stellen und für einheitliche Standards bei den Ladestationen sorgen. Zusätzlich sollten beim Endverbraucher Kaufanreize gesetzt werden, wie z.B. einmalige Subvention beim Kauf eines Elektroautos, kostenfreies Parken oder Steuerermäßigungen.<sup>103</sup>

---

<sup>100</sup> Vgl. Servatius/Schneidewind/Rohlfing 2012, S. 454 f.

<sup>101</sup> Vgl. Bührke/Wengenmayr 2011, S. 149

<sup>102</sup> Vgl. Servatius/Schneidewind/Rohlfing 2012, S. 455

<sup>103</sup> Vgl. ebenda, S. 461



Ein weiterer entscheidender Schritt zur Marktreife ist der Aufbau einer Infrastruktur für das Laden elektrisch betriebener Fahrzeuge. Aus diesem Grund stellen Servatius/Schneidewind/Rohlfing (2012, S. 458 ff.) in ihren Ausführungen drei verschiedene Konzepte für eine Ladeinfrastruktur vor:

- Induktives Laden
- Batteriewechselkonzept
- Laden mit Ladekabel

Das erste Konzept „induktives Laden“ beruht auf Induktionsspulen im Boden (beispielsweise Parkplätze, Straßen oder Autobahnen) und im Elektroauto selbst. Geladen wird das Fahrzeug im Stehen oder im Fahren mittels elektromagnetischer Felder. Das Risiko liegt bei dieser Technik in den hohen Investitionskosten für die Ausstattung der Straßen.

Ähnliche Schwierigkeiten gibt es beim Batteriewechselkonzept. Bei diesem System können leere Autobatterien bei eigenen Service-Stationen innerhalb einer Minute automatisch getauscht werden. Der Verbraucher fährt mit der neuen Batterie ungefähr 100-200 km bis zum nächsten Tausch. Hier liegt das Problem einerseits bei hohen finanziellen Aufwänden durch den Aufbau eines flächendeckenden Netzes an Servicestellen, andererseits würde dieses Konzept einheitliche Batterien und Standards benötigen. Man kann davon ausgehen, dass Autohersteller ihr geistiges Eigentum für ein derart teures Konzept nicht aufgeben.

Erste Pilotprojekte zeigen, dass das Laden mittels Ladestation am ehesten alltagstauglich ist. Dieses Konzept basiert auf bekannten technischen Grundlagen. Es nutzt das bestehende Stromnetz und ist somit die kostengünstigste Alternative. Für die Verbindung zwischen Elektroauto und Ladestation sind einheitliche Standards notwendig. Elektrofahrzeuge sollen zukünftig ein wichtiger Bestandteil des Smart Grid sein und über die Ladestation mit den Verteilernetzen Informationen austauschen. Sie sollen mithelfen, Stromschwankungen aus Wind und Sonne auszugleichen, indem sie Energie speichern und auch bei Bedarf wieder abgeben.

Damit Elektrofahrzeuge als Energiespeicher fungieren können, ist es notwendig, dass die Ladevorgänge zentral gesteuert werden. Ungesteuertes Laden würde die Lastspitzen vor allem

in den Abendstunden erhöhen. Diese Nachfragespitzen müssten dann mit teurem Strom aus fossilen Kraftwerken geglättet werden. Bei entsprechender Marktdurchdringung wären die Batterien der Elektroautos in der Lage im Verbund als ein virtueller Großspeicher zu arbeiten und so Systemdienstleistung wie etwa Regelleistung zu übernehmen. Durch die Bereitstellung von Regelenergie können Netzenspässe und Überlastungen der Transportleitungen vermieden werden. Elektromobilität wäre eine optimale Ergänzung zu der schwankenden Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien. Damit eine aktive Eingliederung von Elektrofahrzeugen in ein intelligentes Stromnetz möglich ist, muss die Kommunikation und der Informationsfluss im Energienetz ausgebaut werden.<sup>104</sup>

Elektroautos würden durch die Bereitstellung von Speicherkapazität die Nutzung von erneuerbarer Energie wesentlich effizienter gestalten und gleichzeitig zu einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission im Verkehrsbereich beitragen. Technisch wären sie auch dazu in der Lage zukünftig Systemdienstleistungen zu übernehmen und so das Stromnetz zu stabilisieren. Folglich würde sich der kostenintensive Netzausbau reduzieren.<sup>105</sup>

Nach Meinung des Autors liegt in der Elektromobilität sehr viel Potenzial. Elektroautos verfügen über das technische und wirtschaftliche Können, die Nutzung von erneuerbaren Energien grundlegend zu ändern. Sie zeichnen sich durch ihre Vielseitigkeit aus. Sie fungieren als Energiespeicher und entlasten so unser Stromnetz. Sie benötigen wesentlich weniger Energie und reduzieren damit unsere Energiekosten. Der Markt für Elektromobilität verfügt über enormes wirtschaftliches Potenzial und trägt so zur inländischen Wertschöpfung bei. Die Technologie bietet für deutsche Unternehmen hervorragende Exportmöglichkeiten. Darüber hinaus verbessern Elektrofahrzeuge die deutsche CO<sub>2</sub>-Bilanz. Darum ist es wichtig, dass Informationsdefizite beim Konsumenten rasch beseitigt werden und die notwendigen Rahmenbedingungen für den Aufbau der Infrastruktur geschaffen werden.

### **3.2.2.3 Energieeffiziente Kommunikationstechnik**

Energieeinsparung bei Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), wie z.B. dem Mobilfunk, ist eine weitere Möglichkeit zur Steigerung der Energieeffizienz und zur

---

<sup>104</sup> Vgl. Schönfelder u.a. 2009, S. 373 f.

<sup>105</sup> Vgl. ebenda, S. 379

Entlastung der Umwelt.<sup>106</sup> Der Begriff „Green IT“ steht in diesem Zusammenhang für alle Energieeffizienz-Potentiale der modernen Telekommunikationstechnologien.<sup>107</sup>

Die deutsche Bundesregierung will den Energieverbrauch im Jahr 2013 um 40 % bezogen auf das Jahr 2009 reduzieren und bis 2015 die Energieeffizienz bei der reinen Datenübertragung massiv erhöhen. Studien beziffern den Jahresstromverbrauch von IKT auf 55,4 TWh, das sind 10 % des Gesamtbedarfs an elektrischer Energie in Deutschland.<sup>108</sup>

Die Möglichkeiten zur Einsparung von Energie sind vielfältig:<sup>109</sup>

- Technologischer Fortschritt bei Prozessoren, Bildschirmen oder HF-Leistungsverstärkern führt zu Effizienzgewinnen.
- Derzeitige Systeme wie etwa Mobilfunkstationen sind für Spitzenlast ausgelegt und stellen unabhängig von der Nutzerzahl die volle Netzwerkkapazität zur Verfügung. Ein gleichmäßiger Lastausgleich ist nur beschränkt möglich.
- Der Energieverlust durch Abwärme in Rechenzentren und ineffiziente Kühlung der Server ist sehr groß.
- Der Betrieb von Systemen, beispielsweise ständig laufende Arbeitsplatzrechner oder im Haushaltsbereich die Stand-by-Funktion der Unterhaltungselektronik, ist nicht bedarfsorientiert.
- Die Speicherung von Daten auf Netzwerkservern läuft ebenfalls äußerst ineffizient. Es kommt zu Doppelspeicherung von Daten. Durch intelligentes Speichern und Trennung von aktiven und inaktiven Daten kann der Energieverbrauch reduziert werden.

Am Beispiel des Mobilfunknetzes wurde analysiert, mit welchen Maßnahmen die Energieeffizienz erhöht werden kann.

80 % des Energieverbrauchs des Mobilfunknetzes entfällt auf die Basisstation. Der Energieaufwand hängt von der Technologie, der Gerätegeneration und von der Auslastung ab. Durch eine bessere Ausnutzung der Sendeleistung und lastabhängiges Abschalten der

---

<sup>106</sup> Vgl. Keusgen 2010, S. 309

<sup>107</sup> Vgl. Gege/Heib 2011, S. 136

<sup>108</sup> Vgl. Keusgen 2010, 309 f.

<sup>109</sup> Vgl. ebenda, S. 310

Basisstation könnte die Energieeffizienz erhöht werden. Außerdem würde eine gemeinsame Nutzung von Basisstationen durch verschiedene Netzbetreiber die Energiekosten senken. Der größte Energieverbraucher in den Stationen ist mit 50 % des gesamten Energiebedarfs der Sendeverstärker. Durch eine Verlagerung des Sendeverstärkers in die Nähe der Antenne und durch Verbesserung des Wirkungsgrades der Leistungsverstärker könnten die Leitungsverluste reduziert werden.<sup>110</sup>

#### **3.2.2.4 Zukunftsfonds Deutschland**

Staat, Haushalte und Unternehmen sind sich bewusst, dass die Schaffung von neuen Strukturen im Energiesystem, die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Energieeffizienzmaßnahmen unbedingt notwendig sind. In jedem dieser Bereiche ist die größte Schwierigkeit die Finanzierung. Die deutsche Regierung kämpft infolge von Bankenrettungen und diversen Konjunkturprogrammen mit Rekordschulden.<sup>111</sup> Die daraus resultierende Unsicherheit und der Vertrauensverlust bei den Bürgern dämpft die Nachfrage nach Produkten. Folglich verschieben deutsche Unternehmen Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen auf unbestimmte Dauer.

Vor diesem Hintergrund haben sich Gege/Heib (2011, S. 228 ff.) in ihren Ausführungen Gedanken über die Finanzierung der Energiewende gemacht. Ihrer Meinung nach wäre das Modell eines Zukunftsfonds Deutschland ein möglicher Lösungsansatz. Deutschland verfügt über ein privates Nettogeldvermögen von insgesamt 3.300 Mrd. Euro. Ziel dieses Finanzierungsmodell ist es, zwischen fünf und zehn Prozent dieses Kapitals für die Einlage in eine Zukunftsgenossenschaft zu gewinnen. Je nach Beteiligungshöhe der privaten Haushalte steht so ein Fondsvermögen von 165 bis 330 Mrd. Euro zur Verfügung. Im Vergleich dazu stellte der Bund 1,5 Mrd. Euro im Jahr 2010 für die Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen bereit.

Vor diesem Hintergrund betont der Autor, dass der Staat somit zwischen 110 und 220 Jahren brauchen würde, um ein ähnliches Finanzierungsvolumen wie die privaten Haushalte auf die Beine zu stellen. Nach Meinung des Autors zeigt dieses Beispiel eindeutig, dass die

---

<sup>110</sup> Vgl. ebenda, S. 311

<sup>111</sup> Vgl. Gege/Heib 2011, S. 224 ff.

derzeitigen staatlichen Mittel einfach nicht ausreichen, um die Energiewende bis 2050 ohne Unterstützung der Bevölkerung zu realisieren.

Weitere wichtige Eckdaten des Zukunftsfonds sind:<sup>112</sup>

- 90 % des Fondsvermögens zur Finanzierung von Energieeffizienzmaßnahmen, Investitionen in erneuerbare Energien und Energieeinsparprogramme
- 10 % des Fondsvermögens als Reserve für Fondskosten, andere nachhaltige Projekte und etwaige Tilgungen
- Mindesteinlage von 1.000 Euro
- 5 % Verzinsung des eingesetzten Kapitals
- Förderkatalog wird in Abstimmung mit Experten festgelegt

Nachfolgendes praktisches Beispiel soll die Funktionsweise des Zukunftsfonds Deutschland kurz erläutern:

<b>Maßnahmen</b>	Investitionen in energieeffiziente Hausgeräte, Heizkessel, Pumpen, Thermostate und Ventile sowie Durchführung eines hydraulischen Abgleichs	
<b>Investition</b>	10.000 € einmalig	
<b>Eigenanteil (20%)</b>	2.000 € einmalig	
<b>Fondsmittel</b>	8.000 € einmalig	
<b>Energiekosten</b>	7.000 € jährlich	
<b>Einsparung (40%)</b>	2.800 € jährlich	
<b>CO<sub>2</sub>-Reduktion</b>	hoch/individuell stark differierend	
	<b>Rückzahlung an den Fonds (75% der Einsparungen)</b>	<b>Beim Unternehmen verbleibende Einsparungen (25%)</b>
1. Jahr	2.100 €	700 €
2. Jahr	2.100 €	700 €
3. Jahr	2.100 €	700 €
4. Jahr	2.100 €	700 €
5. Jahr	2.100 €	700 €
<b>Summe</b>	<b>10.500 €</b>	<b>3.500 €</b>

**Abbildung 8:** Energieeffizienz im Privatbereich

Quelle: Gege/Heib 2011, S. 243; leicht modifiziert

<sup>112</sup> Vgl. ebenda, S. 228 ff.

Dieses Modell zeigt, dass der Zukunftsfonds nach fünf Jahren die Finanzierung von 8.000 Euro plus 2.500 Euro für Zinsen, Tilgung und Verwaltung zurückerhalten hat. Der private Haushalt hat bereits im ersten Jahr der Effizienzmaßnahmen durch die Energieeinsparung frei verfügbare Mittel von 700 Euro. Ab dem sechsten Jahr stehen ihm 2.800 Euro mehr an Kaufkraft zur Verfügung. Geht man davon aus, dass die Energiepreise weiter steigen, fallen die Einsparungen noch höher aus.<sup>113</sup>

Der Autor betont zu Recht, dass das Modell Zukunftsfonds Deutschland eine ausgezeichnete Alternative ist, die Energiewende zu finanzieren, denn die offensichtlich angespannte Finanzlage des Staates erfordert von Unternehmen und Bürgern mehr Eigeninitiative. Im Endeffekt würden alle Beteiligten von solch einem Finanzierungsmodell profitieren. Der Staat kann seinen Haushalt konsolidieren und durch die Effizienzmaßnahmen mit mehr Wirtschaftswachstum rechnen. Die Unternehmen können durch Energieeffizienz ihre Produktionskosten senken und stärken damit ihre Wettbewerbsfähigkeit. Die Konsumenten sparen bei ihren Energierechnungen. Folglich verfügen sie über mehr Kaufkraft und so fließt wieder mehr Geld in die Wirtschaft zurück.

### **3.2.3 Volkswirtschaftliche Effekte der Energieeffizienz**

Energieeffizienzmaßnahmen führen zu ähnlichen volkswirtschaftlichen Vorteilen wie der Ausbau der erneuerbaren Energien.

Deutschland hatte im Jahr 2010 einen Endenergieverbrauch von 9.060 Petajoule (PJ).<sup>114</sup> Damit der Endenergieverbrauch bis 2030 um 23 % gesenkt werden kann, sind zusätzliche Investitionen von rund 300 Mrd. Euro erforderlich.<sup>115</sup> Das Mehr an Investitionen stimuliert die Nachfrage nach Effizienzprodukten. Folglich erhöhen die Unternehmen ihre Produktion und es kommt zu einer Steigerung der Beschäftigung und des BIP.<sup>116</sup> Die Unternehmensberatung Roland Berger geht von einer Verdoppelung des globalen Marktvolumens von 450 Mrd. Euro im Jahr 2005 auf 900 Mrd. Euro im Jahr 2020 aus.<sup>117</sup> In Deutschland löst die Energieeffizienz eine Mehrbeschäftigung von ungefähr 130.000

---

<sup>113</sup> Vgl. ebenda, S. 243

<sup>114</sup> Vgl. BMWi-Energiedaten 2011, Tabelle 6

<sup>115</sup> Vgl. Lehr/Lutz/Pehnt 2012, S. 8 f.

<sup>116</sup> Vgl. Pehnt 2010, S. 11

<sup>117</sup> Vgl. Trage 2009

zusätzlichen Arbeitnehmern pro Jahr aus. Der positive Beschäftigungseffekt nützt vor allem dem Baugewerbe und der Fahrzeugindustrie.<sup>118</sup>

Darüber hinaus beeinflusst Energieeffizienz den Energiebedarf. Einerseits führt der eingesparte Energiebedarf zu einer Senkung der Energiekosten, und andererseits bewirkt er eine Reduktion der Energieimporte, eine Verbesserung der gesamtwirtschaftlichen Produktivität und einen Rückgang der Energiesteuern. Die angeführten Faktoren sichern nicht nur die deutsche Energieversorgung, sondern verbessern auch die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Volkswirtschaft.<sup>119</sup> Eine aktuelle Abschätzung geht von eingesparten Energiekosten in der Größenordnung von rund 21 Mrd. Euro im Jahr 2030 aus.<sup>120</sup>

Ein weiterer bedeutender volkswirtschaftlicher Effekt ist der Export von Effizienzprodukten und -dienstleistungen. Dank frühzeitiger Entwicklung von Effizienztechnologien verfügt Deutschland über einen Wettbewerbsvorsprung auf diesem Wachstumsmarkt.<sup>121</sup> Dieser technische Wettbewerbsvorteil ermöglicht ein zusätzliches Exportvolumen zwischen 10 und 15 Mrd. Euro im Jahr 2030. Die Exporte konzentrieren sich auf die Bereiche Maschinenbau, Elektrogeräte, Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik.<sup>122</sup>

Sonstige positive Wirkungen sind die Reduktion der Emission von Treibhausgasen, die Vermeidung von „externen Kosten“ wie Klimawandel, Gesundheitsgefährdung der Menschen, Materialschäden und die Steigerung des Wohlstands heutiger und zukünftiger Generationen.<sup>123</sup>

---

<sup>118</sup> Vgl. Lehr/Lutz/Pehnt 2012, S. 11

<sup>119</sup> Vgl. Pehnt 2010, S. 11

<sup>120</sup> Vgl. Lehr/Lutz/Pehnt 2012, S. 11

<sup>121</sup> Vgl. Pehnt 2010, S. 11

<sup>122</sup> Vgl. Lehr/Lutz/Pehnt 2012, S. 17

<sup>123</sup> Vgl. ebenda, S. 18

## **4 Zukünftige Herausforderungen der Energiewende**

Die Analyse hat gezeigt, dass erneuerbare Energien prinzipiell über das technische und wirtschaftliche Potenzial verfügen, um neue Strukturen im deutschen Energiesystem zu ermöglichen. Darüber hinaus hat die deutsche Bundesregierung mit ihrem Energiekonzept 2050 vernünftige Rahmenbedingungen und klare Energieziele geschaffen. Dennoch kämpfen Politik und Energiewirtschaft mit zahlreichen Problemen, die es rasch zu lösen gilt, damit Stabilität, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der Energieversorgung nicht gefährdet sind.

Entscheidend für eine erfolgreiche Eingliederung von Wind- und Solaranlagen in die Energieversorgung ist der Ausbau des deutschen Stromnetzes. Das heutige Netz verfügt weder über die Kapazitäten noch über die notwendige Flexibilität, um die stark schwankende Erzeugung aus Windrädern und Solaranlagen ausgleichen zu können. Aus diesem Grund verzögert sich auch die Anbindung der Offshore-Windparks im Norden Deutschlands. Die Genehmigungsverfahren müssen von Seiten der Politik beschleunigt und vereinfacht werden. Überdies braucht es Investitionssicherheit und wirtschaftliche Anreize, damit der Netzausbau schnell vorankommt. Die Zusammenarbeit zwischen EU, Bund, Ländern und Kommunen beim Ausbau der Energieinfrastruktur muss dringend verbessert werden. Entscheidungskompetenzen und -prozesse sollten zukünftig stärker gebündelt und besser aufeinander abgestimmt werden. Es wäre denkbar, das Energiekonzept um einen Masterplan für den Ausbau der Stromnetze mit festen Terminvorgaben und staatlichen Eingriffen bei Nichteinhalten der Investitionsvorgaben zu erweitern.

Außerdem hat die Untersuchung des Energiesystems erkennen lassen, dass der Forschungsbedarf bei Stromspeichern und Elektroautos erheblich ist. Sowohl Energiespeicher als auch Elektrofahrzeuge verursachen derzeit hohe Produktionskosten. Damit die Marktreife erreicht wird, müssen die Wirkungsgrade der Speichertechnologien und die Lebensdauer der Autobatterien erhöht werden. Zusätzlich benötigt der Markt für Elektromobilität eine flächendeckende Infrastruktur an Ladestationen. Beim Ausbau der Speicherkapazitäten besteht in naher Zukunft dringender Handlungsbedarf.

Die Aufarbeitung der Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland lässt aber auch erkennen, dass sie die Energiewende im Alleingang nicht bewältigen können. Eine nachhaltige Energieversorgung ist nur in Kombination mit Energieeffizienz und



Energieeinsparung möglich. Es muss das Bewusstsein erzeugt werden, dass der ökologisch beste Strom der ist, der nicht verbraucht wird. Politische Initiative und Fördermaßnahmen sind gefragt, um dieses große Potenzial zu mobilisieren.

Die aktuelle Studie verdeutlicht, dass die Bevölkerung hohes Interesse an Energieeffizienz und Energieeinsparung zeigt. Außerdem belegen Energieexperten, dass es massives Einsparpotenzial bei den Energiekosten gibt. Jedoch verfügen weder Bürger noch Unternehmer über das notwendige Wissen und den finanziellen Spielraum, um solche Investitionen zu tätigen. Damit Energieeffizienzmaßnahmen in deutschen Unternehmen und Haushalten umgesetzt werden, braucht es eine Informationskampagne, steuerliche Anreize und Fördermittel.

Prinzipiell kann man sagen, dass die Energiewende im letzten Jahrzehnt deutliche Fortschritte gemacht hat. Dennoch wird die Entwicklung in Zukunft stagnieren, wenn die vorgeschlagenen Maßnahmen, wie z.B. dynamischer Netzausbau, Weiterentwicklung von Stromspeichern und Elektrofahrzeugen, Umbau des Kraftwerksparks und Umsetzung von Energieeffizienz, nicht rasch vorangetrieben werden. Da das Energiesystem der Zukunft massive Investitionen erfordert, muss die Politik nach Meinung des Autors die Rahmenbedingungen weiter verbessern und für langfristige Investitionssicherheit sorgen. Das Energiekonzept darf nicht aus den Augen verloren werden und muss genauso wie das EEG laufend hinterfragt und optimiert werden.

Neue Strukturen im Energiesystem können nur dann greifen, wenn Politik, Unternehmen und Bürger an einem Strang ziehen. Die Bereitschaft zu einem Wandel in der deutschen Energieversorgung ist vorhanden. Jedoch bleiben nach Meinung des Verfassers entscheidende Fragen unbeantwortet. Wer trägt die Gesamtkosten der Energiewende? Auf welche Art soll der Energiewandel finanziert werden? Steht heute ein System zur Überwachung der umfangreichen Umbaumaßnahmen zur Verfügung? Welcher Grad der Dezentralität der zukünftigen Energieversorgung wird politisch angestrebt?

Damit die deutsche Energiewende nicht scheitert, braucht es dringend ein wissenschaftliches Monitoring der Umbaumaßnahmen und -kosten, damit die Regierung rasch auf Zielabweichungen und Probleme reagieren kann. Darüber hinaus muss der Staat ein sicheres und zukunftsfähiges Finanzierungsmodell wie etwa den Zukunftsfonds Deutschland

installieren. Unternehmer und Bürger werden sich nur dann finanziell an der Transformation der Energieversorgung beteiligen, wenn Transparenz und Investitionssicherheit gegeben ist. Der Dialog zwischen Regierung und Gesellschaft muss intensiviert werden. Bei entsprechender Information und Erklärung der notwendigen Strukturveränderungen in der Stromversorgung werden Bereitschaft und Akzeptanz innerhalb der Bevölkerung, diese Umbaumaßnahmen gemeinsam zu tragen, steigen.

Deutschland zählt im Bereich der erneuerbaren Energien und Energieeffizienzprodukten zu den führenden Nationen der Welt. Um der wachsenden Konkurrenz insbesondere aus China und dem daraus resultierenden Überangebot zu begegnen, muss die deutsche Energiewirtschaft die Produktivität und die Qualität der Erzeugnisse weiter steigern, damit die Wettbewerbsfähigkeit gesichert wird. Deutschland hat die einmalige Chance durch die Energiewende ein Vorbild für andere Nationen zu werden und die weltweite Energieversorgung nachhaltig zu verändern.

**„Wenn der Wind des Wandels weht, bauen die einen Schutzmauern, die anderen Windmühlen.“** (Chinesisches Sprichwort)

# Literaturverzeichnis

## AC-SOLAR POWER - Solartechnik 2000

AC-SOLAR POWER - Solartechnik: Funktionsprinzip einer Solarzelle. URL: <[http://www.solar-infos.de/PrinzipPlan\\_Selbstbau-\\_PV-\\_Sol/prinzipplan\\_selbstbau-\\_pv-\\_sol.html](http://www.solar-infos.de/PrinzipPlan_Selbstbau-_PV-_Sol/prinzipplan_selbstbau-_pv-_sol.html)>, abgerufen am 25.02.2012

## Agentur für Erneuerbare Energien 2012 (1)

Agentur für Erneuerbare Energien: Windenergie an Land (Onshore). URL: <<http://www.unendlich-viel-energie.de/de/windenergie/an-land-onshore.html>>, abgerufen am 19.02.2012

## Agentur für Erneuerbare Energien 2012 (2)

Agentur für Erneuerbare Energien: Die Wasserkraftbranche im Jahr 2009. URL: <<http://www.unendlich-viel-energie.de/de/wasserkraft/detailansicht/article/97/die-wasserkraftbranche-im-jahr-2009.html>>, abgerufen am 19.02.2012

## Agentur für Erneuerbare Energien 2012 (3)

Agentur für Erneuerbare Energien: Wasserkraft. URL: <<http://www.unendlich-viel-energie.de/de/erdwaerme/oberflaechennahe-geothermie.html>>, abgerufen am 19.02.2012

## Agentur für Erneuerbare Energien 2012 (4)

Agentur für Erneuerbare Energien: Oberflächennahe Geothermie. URL: <<http://www.unendlich-viel-energie.de/de/wasserkraft/wasserkraft.html>>, abgerufen am 19.02.2012

## Agentur für Erneuerbare Energien 2012 (5)

Agentur für Erneuerbare Energien: Tiefengeothermie. URL: <<http://www.unendlich-viel-energie.de/de/erdwaerme/tiefengeothermie.html>>, abgerufen am 19.02.2012

## BMU 2011

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Referat Öffentlichkeitsarbeit: Erneuerbare Energien in Zahlen: Internet-Update ausgewählter Daten. URL: <<http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/2720>>, abgerufen am 27.02.2012

#### BMU 2012 (1)

BMU: Kurzinfo Wasserkraft. URL: <<http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/4644/>>, abgerufen am 19.02.2012

#### BMU 2012 (2)

BMU, Referat KI III 1: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. URL: <<http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/45919/>>, abgerufen am 27.03.2012

#### BMWi-Energiedaten 2011

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Referat III C 3: Energiedaten: Zahlen und Fakten. URL: <<http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Statistik-und-Prognosen/energiedaten.html>>, abgerufen am 25.01.2012

#### BMWi/BMU 2010

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Öffentlichkeitsarbeit; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Öffentlichkeitsarbeit: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung 28. September 2010. URL: <<http://www.bmu.de/energiewende/downloads/doc/46394.php>>, abgerufen am 22.01.2012

#### Bührke/Wengenmayr 2011

Bührke, Thomas; Wengenmayr, Roland: Erneuerbare Energie: Konzepte für die Energiewende. - 3. Aufl. - Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2011

#### Deutsche Energie-Agentur 2010

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): dena-Netzstudie II.: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020. URL: <[http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/Erneuerbare/Dokumente/Faltblatt\\_dena-Netzstudie\\_II.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Erneuerbare/Dokumente/Faltblatt_dena-Netzstudie_II.pdf)>, abgerufen am 14.03.2012

#### Deutsche Energie-Agentur 2012

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Intelligente Stromnetze: Struktur der Stromnetze.  
URL: <<http://www.effiziente-energiesysteme.de/themen/intelligente-stromnetze.html#tab1>>,  
abgerufen am 17.03.2012

#### Dötsch/Kanngießer/Wolf 2009

Dötsch, Christian; Kanngießer, Annedore; Wolf, Daniel: Speicherung elektrischer Energie -  
Technologien zur Netzintegration erneuerbarer Energien.  
In: uwf - UmweltWirtschaftsForum: Volume 17 (2009), Nr. 4, S. 351-360 - DOI:  
10.1007/s00550-009-0150-3

#### EPEX SPOT 2012

European Power Exchange (EPEX SPOT): Intraday-Handel Deutschland. URL:  
<<http://www.epexspot.com/de/produkte/intraday-handel/deutschland>>, abgerufen am  
18.03.2012

#### Frontier Economics/EWI 2010

Frontier Economics Ltd.; EWI: Energiekosten in Deutschland: Entwicklungen, Ursachen und  
internationaler Vergleich (Projekt 43/09). URL:  
<<http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Service/publikationen,did=364354.html>>,  
abgerufen am 20.01.2012

#### Gabler Verlag 2012 (1)

Gabler Verlag (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon: Stichwort: Regenerative Energieträger.  
URL: <<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/127599/regenerative-energietraeger-v3.html>>, abgerufen am 12.02.2012

#### Gabler Verlag 2012 (2)

Gabler Verlag (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon: Stichwort: Szenario-Technik. URL:  
<<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/57363/szenario-technik-v6.html>>, abgerufen am  
04.02.2012

#### Gabler Verlag 2012 (3)

Gabler Verlag (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon: Stichwort: Peer-to-Peer (P2P). URL: <<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/77351/peer-to-peer-p2p-v6.html>>, abgerufen am 17.03.2012

#### Gege/Heib 2011

Gege, Maximilian; Heib, Marilyn: Erfolgsfaktor Energieeffizienz: Investitionen, die sich lohnen. - München: oekom Verlag, 2011

#### Hennicke/Fischedick 2010

Hennicke, Peter; Fischedick, Manfred: Erneuerbare Energien. - 2., aktualisierte Auflage - München: Verlag C.H. Beck oHG, 2010

#### Keusgen 2010

Keusgen, Wilhelm: Energiebedarf und Energieeffizienz der Kommunikationstechnik.  
In: E & I Elektrotechnik und Informationstechnik 127. Jahrgang (2010), Nr. 11, S. 309-313 - DOI: 10.1007/S00502-010-0781-7

#### Kraftwerksforschung 2012

Fachinformationszentrum Karlsruhe: CO<sub>2</sub>-arme Kraftwerkstechnik. URL: <<http://www.kraftwerksforschung.info/quickinfo/co2-arme-kraftwerkstechnik/aus-dem-gewicht-des-wassers>>, abgerufen am 19.02.2012

#### Kurier 2012

Stingl, Markus: Erdölpreise: „100 Dollar schaden der Wirtschaft nicht“.  
In: Kurier vom 21.01.2012, S. 9

#### Lehr/Lutz/Pehnt 2012

Lehr, Ulrike; Lutz, Christian; Pehnt, Martin: Volkswirtschaftliche Effekte der Energiewende: Erneuerbare Energien und Energieeffizienz. Osnabrück, Heidelberg: 2012

#### Mahnke/Mühlenhoff 2012

Mahnke, Eva; Mühlenhoff, Jörg: Strom speichern.  
In: Renewes Spezial: Strom speichern (2012), Ausgabe 57 - ISSN 2190-3581

#### Pehnt 2010

Pehnt, Martin: Energieeffizienz: Ein Lehr- und Handbuch. - 1., korrigierter Nachdruck - Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2010

#### Pehnt u.a. 2011

Pehnt, Martin; Helms, Hinrich; Lambrecht, Udo; Dallinger, David; Wietschel, Martin; Heinrichs, Heidi; Kohrs, Robert; Link, Jochen; Trommer, Stefan; Pollok, Thomas; Behrens, Petra: Elektroautos in einer von erneuerbaren Energien geprägten Energiewirtschaft.

In: Zeitschrift für Energiewirtschaft: Volume 35 (2011), Nr. 3, S. 221-234 - DOI: 10.1007/s12398-011-0056-y

#### Quaschnig 2011

Quaschnig, Volker: Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Simulation. - 7., aktualisierte Auflage - München: Hanser Verlag, 2011

#### Rifkin 2011

Rifkin, Jeremy: Die dritte industrielle Revolution: Die Zukunft der Wirtschaft nach dem Atomzeitalter. - Frankfurt am Main: Campus Verlag GmbH, 2011

#### Schönfelder u.a. 2009

Schönfelder, Martin; Pathmaperuma, Daniel; Reiner, Ulrich; Fichtner, Wolf; Schmeck, Hartmut; Leibfried, Thomas: Elektromobilität.

In: uwf - UmweltWirtschaftsForum: Volume 17 (2009), Nr. 4, S. 373-380 - DOI: 10.1007/s00550-009-0157-9

#### Servatius/Schneidewind/Rohlfing 2012

Servatius, Hans-Gerd; Schneidewind, Uwe; Rohlfing, Dirk: Smart Energy: Wandel zu einem nachhaltigen Energiesystem. - Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2012

#### Statistisches Bundesamt 2012

Statistisches Bundesamt: Wohnen 2010: mehr Wohnungen, mehr Wohneigentum. URL: < [https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2012/03/PD12\\_093\\_122.html](https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2012/03/PD12_093_122.html)>, abgerufen am 15.04.2012

### TECSON 2012

TECSON: Entwicklung der Erdölpreise. URL: <<http://www.tecson.de/historische-oelpreise.html>>, abgerufen am 22.01.2012

### The World Bank 2011

The World Bank: Stichwort: Gross national income 2010: Atlas method. URL: <<http://siteresources.worldbank.org/DATASTATISTICS/Resources/GNI.pdf>>, abgerufen am 22.01.2012

### Trage 2009

Trage, Sylvia: Energieeffizienz lohnt sich. URL: <[http://www.siemens.com/innovation/apps/pof\\_microsite/\\_pof-spring-2009/\\_html\\_de/fakten-und-prognosen-energieeffizienz-lohnt-sich.html](http://www.siemens.com/innovation/apps/pof_microsite/_pof-spring-2009/_html_de/fakten-und-prognosen-energieeffizienz-lohnt-sich.html)>, abgerufen am 01.05.2012

### Umweltbundesamt 2012

Österreichisches Umweltbundesamt: Stichwort: Erneuerbare Energie. URL: <<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/energie/energietraeger/erneuerbareenergie>>, abgerufen am 12.02.2012

### VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. 2012

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.: Windenergie. URL: <<http://www.vde.com/de/fg/ETG/Arbeitsgebiete/V1/Aktuelles/Oeffentlich/Seiten/Windenergie.aspx>>, abgerufen am 19.02.2012

### WEKA Fachmedien 2012

WEKA Fachmedien GmbH: Was macht das Stromnetz von morgen intelligent?. URL: <[http://www.elektroniknet.de/power/technik-know-how/acdc-dcdc-wandler/article/26457/0/Was\\_macht\\_das\\_Stromnetz\\_von\\_morgen\\_intelligent/](http://www.elektroniknet.de/power/technik-know-how/acdc-dcdc-wandler/article/26457/0/Was_macht_das_Stromnetz_von_morgen_intelligent/)>, abgerufen am 17.03.2012

### Weltenergierat 2011

Weltenergierat - Deutschland e.V.: Energie für Deutschland 2011. URL: <[http://www.worldenergy.org/documents/energie\\_fr\\_deutschland\\_2011l.pdf](http://www.worldenergy.org/documents/energie_fr_deutschland_2011l.pdf)>, abgerufen am 11.03.2012



#### Wikipedia 2012 (1)

Wikipedia, die Freie Enzyklopädie: Stichwort: Damokles. URL:  
<<http://de.wikipedia.org/wiki/Damokles>>, abgerufen am 21.01.2012

#### Wikipedia 2012 (2)

Wikipedia, die Freie Enzyklopädie: Stichwort: Erneuerbare Energien. URL:  
<[http://de.wikipedia.org/wiki/Erneuerbare\\_Energie](http://de.wikipedia.org/wiki/Erneuerbare_Energie)>, abgerufen am 12.02.2012

#### Wikipedia 2012 (3)

Wikipedia, die Freie Enzyklopädie: Stichwort: Residuallast. URL:  
<<http://de.wikipedia.org/wiki/Residuallast>>, abgerufen am 17.03.2012

#### Winter/Neddermann/Knorr/Grave/Lindenberger 2011

Winter, Wilhelm; Neddermann, Bernd; Knorr, Kaspar; Grave, Katharina; Lindenberger, Dietmar: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015-2020 mit Ausblick auf 2025.

In: Zeitschrift für Energiewirtschaft: Volume 35 (2011), Nr. 2, S. 139-153 - DOI:  
10.1007/s12398-011-0054-0

#### World Energy Outlook 2011

Internationale Energie-Agentur: World Energy Outlook 2011: Zusammenfassung. URL:  
<[http://www.iea.org/weo/docs/weo2011/es\\_german.pdf](http://www.iea.org/weo/docs/weo2011/es_german.pdf)>, abgerufen am 12.11.2011

#### Wuppertal Institut 2008

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH; Irrek, Wolfgang; Thomas, Stefan:  
Definition Energieeffizienz. URL: <  
[http://www.wupperinst.org/uploads/tx\\_wibeitrag/energieeffizienz\\_definition.pdf](http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/energieeffizienz_definition.pdf)>, abgerufen  
am 12.02.2012

## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Hollabrunn, den 22.05.2012

Christian Kraft